

## CONCOURS INTERNE D'INGÉNIEUR TERRITORIAL

SESSION 2023

ÉPREUVE DE PROJET OU ÉTUDE

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :

L'établissement d'un projet ou étude portant sur l'une des options, choisie par le candidat lors de son inscription, au sein de la spécialité dans laquelle il concourt.

Durée : 8 heures  
Coefficient : 7

**SPÉCIALITÉ : PREVENTION ET GESTION DES RISQUES**

**OPTION : HYGIÈNE, LABORATOIRES, QUALITÉ DE L'EAU**

### À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

**Ce sujet comprend 70 pages.**

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend le nombre de pages indiqué.**

*S'il est incomplet, en avertir le surveillant.*

- ♦ Vous répondrez aux questions suivantes dans l'ordre qui vous convient, en indiquant impérativement leur numéro.
- ♦ Vous répondrez aux questions à l'aide des documents et de vos connaissances.
- ♦ Des réponses rédigées sont attendues et peuvent être accompagnées si besoin de tableaux, graphiques, schémas...

Vous êtes ingénieur territorial au sein d'Ingelabo, laboratoire géré par le conseil départemental d'Ingedep. La crise sanitaire a donné lieu à une approche scientifique nouvelle pour modéliser et enrichir les enquêtes épidémiologiques. L'analyse des eaux usées a représenté un indicateur innovant mis à disposition des autorités publiques de santé (comme Santé Publique France) afin d'être en capacité de mieux anticiper l'évolution de la présence du SARS-COV2 sur notre territoire.

Depuis mars 2020, date du début de la pandémie du COVID-19, des scientifiques se sont mobilisés pour recueillir des échantillons d'eaux usées non traitées avec comme objectif de rechercher des fragments du virus SARS-COV-2. Rapidement, il a été observé que les niveaux de virus augmentaient pendant quatre à six jours environ dans les eaux usées d'une région avant que celle-ci ne connaisse une recrudescence des cas cliniques. Les professionnels de santé pouvaient ainsi envisager d'utiliser ces données pour anticiper les rebonds locaux, et intensifier les efforts de tests et de vaccination.

En première approche, la communauté scientifique craignait que les produits chimiques présents dans les eaux usées ne dégradent le matériel génétique du virus et émettait des réserves quant à la possibilité de séquencer du matériel viral distinct provenant des eaux usées. L'amélioration, démontrée par plusieurs unités de recherche internationales, des outils de séquençage moléculaire permettant déjà l'identification de virus comme la grippe A, les rotavirus, les adénovirus, et les astrovirus dans les eaux usées a mis fin à cette controverse.

Le président d'Ingedep souhaite faire d'Ingelabo une ressource territoriale de premier ordre en cas de nouvel épisode épidémique. Il a sollicité le directeur du laboratoire pour constituer une nouvelle unité qui assurerait le suivi des eaux usées à cet effet. Ce dernier vous désigne chef de projet sur cette mission.

### **Question 1 (6 points)**

Vous rédigerez une note, à l'attention du directeur, sur les protocoles et les outils qui ont été développés pour le suivi épidémique par les eaux usées lors de la crise du SARS-COV2.

Vous en préciserez en outre les limites et les résultats qu'ils ont permis d'obtenir.

### **Question 2 (5 points)**

Le directeur s'interroge sur les données à recueillir et le protocole de suivi qu'Ingelabo pourrait mettre en place sur le territoire.

- À l'aide des deux graphiques présentés en annexe B, vous interprétez les mesures observées dans le cadre de la surveillance du virus dans les eaux usées par le réseau OBEPINE en février 2021. (2 points)
- Sur cette base, vous proposerez un protocole de suivi épidémiologique pouvant être développé par Ingelabo grâce à l'analyse des eaux usées.

Outre les aspects techniques, vous préciserez les moyens qu'une telle démarche nécessite (matériels, humains et habilitations). (3 points)

### Question 3 (9 points)

Le directeur vous demande désormais de travailler à la création d'une unité en charge du suivi et de la surveillance des eaux usées par rapport au risque épidémique.

- a) Vous décrierez, dans une « fiche de service », la manière dont vous envisagez le fonctionnement de cette unité. (3 points)
- b) Après avoir rappelé les enjeux que recouvre un tel projet pour le laboratoire et l'administration départementale, vous présenterez une méthode pour mettre en place cette unité.

Vous en préciserez notamment les grandes étapes, les partenaires à mobiliser, les moyens et le calendrier. (4 points)

*Nota Bene : votre attention est attirée sur le fait qu'une description argumentée de votre plus-value en qualité d'ingénieur territorial pour faire aboutir ce projet et convaincre les élus d'approuver votre approche constituera un plus.*

- c) Le directeur souhaite minimiser le nombre de recrutement pour cette unité. Il envisage à ce titre de reconvertir un certain nombre d'agents affectés à des missions de prélèvements et d'analyses d'eaux de baignade, qui doivent demain être externalisées.

Quelles modalités d'accompagnement au changement proposez-vous pour ces agents ? (2 points)

#### Liste des documents :

- Document 1 :** « Les eaux usées, outil essentiel dans le suivi des épidémies » - Priyanka Runwal - *National Geographic* - 4 juillet 2022 - 5 pages
- Document 2 :** « La surveillance des eaux usées en aide à la veille sanitaire sur la pandémie de Covid-19 » (extrait) - Jean Lesne, Yves Lévi - *Environnement, Risques & Santé 2021/3 (Vol.20)* - 2021 - 13 pages
- Document 3 :** « Surveillance de la Covid-19 dans les eaux usées » - *Santé publique Ottawa* - consulté en janvier 2023 - 2 pages
- Document 4 :** « Surveillance virologique du SARS-COV-2 dans les eaux usées en France. Protocole pour sa mise en œuvre dans une perspective de santé publique. Volet épidémiologique » (extrait) - *Santé publique France* - décembre 2021 - 22 pages
- Document 5 :** « Comment mettre en place une stratégie de surveillance et de prévention de la Covid-19 à partir de prélèvements d'eaux usées » - Damien Thomas - *c4diagnostics.com* - 3 novembre 2020 - 4 pages
- Document 6 :** « Surveillance de la Covid-19 dans les eaux usées » - *canada.ca* - consulté en janvier 2023 - 3 pages
- Document 7 :** « Covid-19 et eaux usées : le réseau Obépine s'étend et peaufine ses modèles prédictifs » - Alexandre Couto - *L'Usine Nouvelle* - 17 novembre 2020 - 5 pages
- Document 8 :** « Covid-19 : qu'apporte la détection de la vague souterraine ? » - *l'Mtech*. - 9 mars 2021 - 2 pages

**Document 9 :** « La démarche "projet de service coopératif" » - Nicolas Rapin - *La lettre du Cadre territorial* - 3 mai 2016 - 4 pages

**Document 10 :** « Coronavirus en Ile-de-France : Le Covid-19 en baisse dans les eaux usées mais à un niveau toujours « très élevé » - Caroline Politi - *Réseau Obépine* - 28 janvier 2021 - 2 pages

**Liste des annexes :**

**Annexe A :** Organigramme d'Ingelabo - 1 page

**Annexe B :** « Covid-19 : ce que montrent les dernières analyses des eaux usées par le réseau OBEPINE » (extraits) - Xavier Demagny - *radiofrance.fr* - 23 février 2021 - 3 pages

**Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.**

*Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.*

SCIENCES

# Les eaux usées, outil essentiel dans le suivi des épidémies

Cette méthode d'analyse des eaux usées destinée à suivre la présence d'agents pathogènes a permis de limiter les dégâts de plusieurs épidémies, et est désormais utilisée pour anticiper les flambées de COVID-19.

DE PRIYANKA RUNWAL

PUBLICATION 4 JUIL. 2022, 18:00 CEST

Un chimiste analytique tient un tube contenant un échantillon d'eau usée.

PHOTOGRAPHIE DE **M. SCOTT  
BRAUER, REDUX**



**CICERO, ILLINOIS** – Une odeur nauséabonde m’envahit dès que je pénètre dans le bâtiment de dégrillage fin de la station d’épuration de Stickney, l’une des plus grandes installations de traitement des eaux usées du monde, située tout près de Chicago. Dans ce bâtiment en briques à l’allure industrielle, avec ses tuyaux apparents, ses bandes transporteuses et ses machines encombrantes, se trouvent des cavités qui transportent des eaux usées brutes, provenant pour la plupart d’habitations, qui seront filtrées pour en retirer le plastique, les morceaux de tissus, les métaux et autres débris.

À côté de moi, le directeur des opérations, Joe Cummings, guette un ronflement. « Vous allez entendre le son de la pompe », me dit-il. En effet, toutes les cinq minutes, un fin tuyau d’aspiration extrait cinq cuillères à soupe d’eaux usées non traitées, troubles et gris foncé. Chaque jour, cet échantillonneur automatique déversera les eaux usées brutes dans un bocal en plastique de 19 litres. Les biologistes de l’équipe testeront ensuite le contenu du bocal pour y déceler des minéraux ou des composés toxiques qui pourraient nuire aux microbes qui sont nécessaires au nettoyage et au traitement des eaux usées, avant leur rejet dans le canal sanitaire de Chicago.

Depuis mars 2020, date du début de la pandémie de COVID-19, les scientifiques utilisent également ces échantillons d’eaux usées non traitées pour rechercher des fragments du virus SARS-CoV-2 excrétés dans les matières fécales des personnes infectées, ce qui leur permet de donner des alertes précoces sur les flambées épidémiques qui arrivent. En général, les niveaux de virus augmentent pendant quatre à six jours environ dans les eaux usées d’une région avant que celle-ci ne connaisse une recrudescence des cas cliniques. Les communautés et les professionnels de santé peuvent donc utiliser les données relatives aux eaux usées pour anticiper les rebonds locaux, et intensifier les efforts de tests et de vaccination. Les premiers travaux ont été si fructueux qu’en septembre 2020, les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDC) des États-Unis ont établi un système

national de surveillance des eaux usées, en collaborant avec des dizaines d'usines de traitement à travers le pays et en finançant la surveillance des eaux usées pour le SARS-CoV-2. En février 2022, les fonds des CDC soutenaient des programmes dans plus de 400 sites répartis dans 37 États, 4 villes et 2 territoires, même si l'ampleur reste inégale. Selon Amy Kirby, cheffe de projet aux CDC, le financement étant garanti jusqu'en 2025, l'objectif est d'atteindre les cinquante États et d'étendre la collecte de données à d'autres virus tels que la grippe et les norovirus, à la bactérie d'origine alimentaire *Escherichia coli*, aux bactéries devenues résistantes aux antibiotiques et au champignon pathogène *Candida auris*.

Au départ, les responsables de la santé publique étaient sceptiques quant aux efforts visant à surveiller les eaux usées pour détecter le SARS-CoV-2, note Rachel Poretsky, écologiste microbienne à l'université de l'Illinois à Chicago. Certains craignaient que les produits chimiques présents dans les eaux usées ne dégradent le matériel génétique du virus, tandis que d'autres doutaient qu'il soit possible de séquencer du matériel viral distinct provenant des eaux usées.

Poretsky et d'autres scientifiques ont prouvé qu'ils avaient tort. Grâce à une subvention indépendante, elle et ses collègues ont travaillé avec le département de la santé publique de Chicago pour détecter et quantifier le SARS-CoV-2 à Stickney et dans quelques autres stations d'épuration de la région. « Lorsque nous avons pu montrer que les données [provenant des eaux usées] reflétaient ce que nous observions en milieu clinique, ou comblaient les lacunes de notre infrastructure de santé publique, les gens ont commencé à s'y fier un peu plus », raconte-t-elle.

La virologue Heléne Norder, de l'université de Göteborg en Suède, compte parmi les scientifiques qui, depuis des années, font avancer la recherche sur la surveillance des eaux usées. Grâce à l'amélioration des outils de séquençage moléculaire, les scientifiques avaient déjà identifié le virus de la grippe A, les rotavirus, les adénovirus, le virus Aichi et les astrovirus dans les eaux usées. Mais selon elle, il a souvent été difficile d'obtenir des fonds et de faire en sorte que ses recherches soient prises au sérieux. Du moins jusqu'à maintenant.

« Malheureusement, il a fallu une pandémie pour que l'on prenne conscience de l'importance et de l'intérêt de ce domaine de recherche », s'attriste Arjun Venkatesan, chimiste de l'environnement à l'université Stony Brook de New York.

## UNE LONGUE HISTOIRE

L'une des premières réussites en matière de détection d'agents pathogènes dans les égouts a eu lieu à Belfast, en Irlande du Nord, qui a connu des épidémies dévastatrices de fièvre typhoïde au 19<sup>e</sup> siècle. La maladie se propageait par l'ingestion des aliments ou de l'eau contaminés par la bactérie *Salmonella typhi*, que l'on retrouvait dans les matières fécales des personnes infectées. Même après la fin de l'épidémie, les porteurs chroniques asymptomatiques ont continué à excréter des bactéries dans leurs selles pendant des années. Mais à l'époque, les scientifiques avaient du mal à prouver que la contamination par les eaux usées pouvait être responsable des épidémies.

Puis, en 1928, William James Wilson, professeur d'hygiène et de santé publique à la Queen's University en Irlande du Nord, a utilisé une nouvelle technique de culture sur des échantillons d'eaux usées qui étaient en route vers les bassins de sédimentation de Belfast. Il a pu isoler vingt-et-une souches de *Salmonella typhi* à

partir des échantillons, apportant ainsi la preuve directe que les eaux usées étaient porteuses de l'agent pathogène.

De la même manière, James Allan Gray, de l'université d'Édimbourg, a confirmé la présence de *Salmonella paratyphi*, une bactérie qui provoque une fièvre typhoïde moins grave appelée fièvre paratyphoïde, dans sept de vingt échantillons d'eaux usées prélevés à Édimbourg en 1929. Et aux États-Unis, le virologue John Paul, de l'école de médecine de Yale, a confirmé avec ses collègues la présence du virus de la polio en infectant des singes avec des échantillons d'eaux usées prélevés en 1939 à Charleston, en Caroline du Sud, où un nombre anormalement élevé de cas de polio avait été enregistré.

Dans les années qui ont suivi, les scientifiques ont exploré le contrôle des eaux usées comme outil de surveillance de la santé publique. Israël, par exemple, n'avait plus eu de cas de polio depuis six ans lorsqu'une épidémie survenue en 1988 a laissé quinze personnes paralysées. L'échantillonnage a montré que les égouts à ciel ouvert étaient une source potentielle d'exposition au virus. Depuis lors, vingt-cinq à trente sites en Israël et dans les territoires palestiniens adjacents prélèvent mensuellement des échantillons d'eaux usées afin de détecter le poliovirus avant l'apparition de cas symptomatiques dans la population. Cette surveillance a permis aux autorités israéliennes de repérer la « circulation silencieuse » du poliovirus sauvage dans les égouts du pays en 2013, ce qui a déclenché des efforts de vaccination de masse. Au cours des vingt dernières années environ, plus de vingt pays ont adopté la même approche.

Les scientifiques ont également été en mesure d'utiliser les eaux usées non traitées pour repérer d'autres épidémies virales avant que des personnes ne soient contaminées. En Suède, Norder et ses collègues ont enregistré un pic de norovirus en 2013 dans des échantillons au moins deux semaines avant que la plupart des patients infectés ne soient diagnostiqués dans les hôpitaux et les centres de soins pour personnes âgées de Göteborg. Ils ont également détecté certaines souches du virus de l'hépatite A dans les eaux usées quelques semaines avant les cas cliniques signalés.

Cependant, dans de nombreux pays et régions, la surveillance systématique des stations d'épuration a longtemps fait défaut, mais cela pourrait changer grâce au COVID-19.

## À LA RECHERCHE DU COVID-19

Début 2020, des scientifiques chinois ont confirmé la présence de matériel génétique du SARS-CoV-2 dans des échantillons de selles d'un patient infecté. Peu après, des chercheurs néerlandais ont signalé la présence d'ARN viral dans les eaux usées de leur pays.

À la station de traitement des eaux usées d'Amersfoort, dans le centre des Pays-Bas, des fragments d'ARN du SARS-CoV-2 ont été trouvés dans de l'eau non traitée, six jours avant que les premiers cas du pays ne soient signalés en mars 2020. Ces fragments sont devenus plus abondants à mesure que le nombre de personnes atteintes du COVID-19 augmentait. Les chercheurs ont donc proposé une surveillance des eaux usées pour fournir des preuves de la présence et de la circulation du SARS-CoV-2 dans leur population. Cela est particulièrement utile lorsque de nombreuses infections peuvent être légères ou asymptomatiques, ou que les tests ne sont pas facilement accessibles.

Rolf Halden, ingénieur en environnement à l'université d'État de l'Arizona, n'a pas tardé à s'en rendre compte. Depuis 2018, Halden et ses collègues utilisaient la

surveillance des eaux usées pour suivre la consommation d'opioïdes dans la ville de Tempe, et tenait la population informée tous les mois par le biais d'un **tableau de bord en ligne**. La grippe était la prochaine sur leur liste, mais ils ont rapidement changé de cap pour rechercher le SARS-CoV-2 lorsque la pandémie a frappé. En mai 2020, son équipe a identifié **un foyer d'infection à Guadalupe**, une ville à prédominance hispanique et amérindienne où les tests étaient insuffisants, ce qui a déclenché une réaction rapide des agents de santé locaux.

Cette analyse a donné des résultats similaires dans des universités. En août 2020, une équipe de scientifiques de l'université d'Arizona a détecté du matériel génétique du SARS-CoV-2 dans les eaux usées d'une résidence universitaire, ce qui a entraîné l'organisation immédiate de tests, et a permis d'identifier deux étudiants qui étaient asymptomatiques, et qui ont donc été isolés.

Entre novembre 2020 et avril 2021, une **étude** utilisant les données de la ville de New York a identifié une tendance similaire dans les variations des nouveaux cas de COVID-19 et des niveaux de virus dans les quatorze stations d'épuration de la ville. Et en novembre 2021, des preuves de la présence d'Omicron ont été trouvées dans les eaux usées quelques jours au moins avant que le premier cas ne soit cliniquement identifié.

À mesure qu'Omicron a pris le pas sur le variant Delta aux États-Unis, les responsables de la santé publique ont utilisé les données relatives aux eaux usées pour décider du moment où il convenait d'interrompre des traitements tels que **deux anticorps monoclonaux** qui n'étaient pas efficaces contre le nouveau variant, explique l'ingénieure en environnement Colleen Naughton, de l'université de Californie à Merced, qui suit les efforts de surveillance des eaux usées du SARS-CoV-2 dans le monde entier.

Les experts soulignent que la surveillance des eaux usées ne peut remplacer des programmes de tests adaptés. Il est difficile d'évaluer la quantité absolue d'ARN viral dans une population à partir de ce type d'échantillon.

« Il est tout simplement trop compliqué de relier la quantité de virus au nombre de personnes susceptibles d'être infectées », explique Poretsky. Pour ce faire, nous devons plutôt savoir combien de personnes excrètent le virus et pendant combien de temps, ce qui peut varier en fonction du variant, de la trajectoire de l'infection et du statut vaccinal des personnes.

« Même avec ces limites, la surveillance des eaux usées peut être très utile », ajoute Kirby.

## **L'AVENIR DE CETTE MÉTHODE**

C'est pourquoi de nombreux experts du domaine sont aujourd'hui ravis de l'**engagement pris par les CDC** destiné à étendre la surveillance des eaux usées au-delà du SARS-CoV-2. Mais les détails concernant l'effort et l'ampleur de la surveillance doivent encore être définis.

Par exemple, de nombreuses stations d'épuration prélèvent des échantillons deux fois par semaine pour des tests en lien avec le SARS-CoV-2. Ce niveau d'analyse n'est peut-être pas nécessaire pour les agents pathogènes qui n'évoluent pas aussi rapidement. De même, certaines maladies peuvent être saisonnières et ne pas

nécessiter de tests tout au long de l'année, tandis que d'autres seront plus pertinentes dans certaines régions que d'autres.

Certains scientifiques proposent une approche globale qui permettra d'examiner toute la diversité des virus présents dans les égouts urbains du monde entier. Il s'agirait d'échantillonner de manière répétée les mêmes égouts pendant des années afin d'identifier les virus typiques de cette région, et d'intervenir lorsque cette composition change.

« Selon la fréquence de certaines mutations ou de certains virus dans un échantillon par rapport à la diversité mondiale, nous pourrions trouver quelque chose qui se distingue au niveau local », explique Marion Koopmans, virologue au centre médical de l'université Érasme aux Pays-Bas. Néanmoins, selon elle, les outils permettant d'identifier facilement les virus inconnus dans un échantillon ne sont pas encore tout à fait au point. En outre, il pourrait être difficile de distinguer les virus humains des virus animaux et végétaux dans les échantillons contenant de nouveaux microbes. Au-delà des obstacles technologiques, la surveillance des eaux usées soulève des problèmes d'éthique et de respect de la vie privée, en particulier si la surveillance s'effectue à une échelle plus locale que communautaire. « C'est comme si l'on fouillait la poubelle de son voisin », explique Venkatesan.

En dehors d'une épidémie grave, remonter la piste d'une maladie ou de l'utilisation de certains médicaments jusqu'à un individu ou un quartier pourrait entraîner une stigmatisation. De plus, réaliser ce travail sans collaborer avec la communauté pourrait mettre en péril sa confiance. « Nous avons une bonne compréhension des lignes éthiques en ce qui concerne les questions cliniques, mais il n'existe pas de directives similaires pour les échantillons environnementaux », explique Kirby.

Cette question est d'autant plus importante que l'on s'intéresse de plus en plus à l'archivage de ces échantillons, au cas où il serait nécessaire de retracer l'origine des épidémies à l'arrivée de certains agents pathogènes.

En attendant, les efforts de surveillance continuent d'évoluer. Avec la récente recrudescence des cas de variole du singe aux États-Unis, Poretsky a commencé à chercher des preuves de la présence du virus dans les eaux usées de la région de Chicago. « Nous ne savons pas quelle est l'ampleur de la maladie, si elle se propage, ni combien de temps elle a pu être présente avant que nous ne commencions à rechercher des cas cliniques », constate-t-elle. Mais les eaux usées pourraient peut-être fournir quelques indices.

# La surveillance des eaux usées en aide à la veille sanitaire sur la pandémie de Covid-19 (extrait)

JEAN LESNE<sup>1</sup>  
YVES LÉVI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professeur de l'EHESP  
retraité  
Membre de la Société  
francophone de santé  
environnement (SFSE)  
Université de Paris  
Bâtiment Buffon - Case  
courrier 7073  
4, rue M. A. Lagroua Weill  
Hallé  
75205 Paris cedex 13  
France  
<jean.lesne@laposte.net>

<sup>2</sup> Professeur émérite  
Université Paris Saclay  
CNRS UMR 8079  
AgroParisTech  
Faculté de pharmacie  
5, rue Jean-Baptiste  
Clément  
92290 Chatenay-Malabry  
France  
<yves.levi@u-psud.fr>

**Tirés à part :**  
J. Lesne

Article reçu le 23 février 2021,  
accepté le 22 mars 2021

**Résumé.** La surveillance des épidémies de maladies infectieuses se fait traditionnellement par le recensement individuel des cas cliniques, de la mortalité et des dépistages. Le suivi collectif par l'analyse de biomarqueurs dans les eaux usées est une nouvelle approche complémentaire qui se développe grâce aux progrès analytiques. Dans le cas des maladies infectieuses virales, elle accompagne les études épidémiologiques pour l'estimation de la prévalence au sein de la population raccordée à un même réseau de collecte des eaux usées. Dans le cadre de la pandémie de Covid-19, ce type d'approche s'est largement et rapidement développé dans le monde en raison des avantages espérés. L'article s'appuie sur les premiers travaux publiés depuis janvier 2020 dans une littérature en évolution rapide. Il montre que la méthode présente des limites liées notamment à la stratégie d'échantillonnage, aux effets analytiques de matrice, à la variabilité inter-laboratoires des résultats, et aux incertitudes sur l'excrétion virale individuelle dans les fèces. Elle utilise, dans la quasi-totalité des cas, une détection par PCR quantitative du génome du virus SARS-CoV-2 et n'est donc pas en mesure de caractériser son infectivité. Les résultats montrent une relation relativement bonne entre la concentration du génome dans les eaux usées et le nombre de cas infectieux confirmés. Les détections de virus semblent apparaître quelques jours avant les évolutions constatées sur la base de la clinique et des dépistages. Cela permettrait aux autorités sanitaires d'être alertées de la progression géographique d'une épidémie attendue ou d'anticiper leur réaction en cas de nouveau départ d'une épidémie en cours. La connaissance des tendances évolutives de la contamination par le virus des eaux usées dans des communes, voire des quartiers de villes, permet aussi de mieux cibler géographiquement et au fil du temps les actions de santé publique destinées à faire barrière à sa circulation dans la population desservie par leurs réseaux d'assainissement. En lien avec la surveillance sanitaire, la méthode a vocation à contribuer au développement de modèles épidémiologiques permettant de prévoir l'évolution de la pandémie à l'échelle locale. Elle est appelée à se développer en surveillance de site sentinelle permanente sur les territoires, fournissant en temps réel des indications épidémiologiques précoces. Cette surveillance des eaux usées peut aussi alimenter une banque d'échantillons témoins pour l'analyse rétrospective des premiers temps d'épidémies virales sur un territoire.

**Mots clés :** virus à ARN ; maladies virales ; environnement et santé publique ; microbiologie de l'eau ; transmission de maladies infectieuses ; épidémies ; surveillance épidémiologique.

## Abstract

### **Wastewater monitoring in support of health surveillance of the COVID-19 pandemic**

*Surveillance of infectious disease pandemics is traditionally carried out by the inventory of individual clinical cases, mortality, and biological testing. Collective monitoring through the analysis of biomarkers in wastewater is a new complementary approach developed due to progress in analytical chemistry. It supports epidemiological studies for the estimation of the prevalence of viral infectious diseases within communities*

Pour citer cet article : Lesne J, Lévi Y. La surveillance des eaux usées en aide à la veille sanitaire sur la pandémie de Covid-19. *Environ Risque Sante* 2021 ; 20 : 274-289. doi : 10.1684/ers.2021.1558

doi: 10.1684/ers.2021.1558

*connected to the same wastewater sewage network. In the context of the COVID-19 pandemic, this type of approach has developed widely and rapidly around the world, due to its anticipated benefits. The article builds on early work published since January 2020 in a rapidly evolving literature. It shows that the method has limitations related in particular to the sampling strategy, analytical matrix effects, interlaboratory variability of results, and also uncertainties about individual viral excretion in feces. In almost all cases, it uses genomic detection of SARS-CoV-2 virus by quantitative PCR and is therefore unable to characterize its infectivity. The results showed a relatively good relation between genome concentrations in wastewater and numbers of confirmed cases. The virus detections seemed to appear a few days before the changes observed on the basis of the clinical and test screenings and can alert the health authorities to the geographical progression of an expected epidemic or to anticipate their reaction in the event of a new spike of the current epidemic. Knowledge of the evolutionary trends of wastewater virus contamination in cities, or even in city districts, also makes it possible to better target geographically and over time the public health management actions intended to prevent the circulation of the virus in the population served by their sewerage systems. In connection with health surveillance, the method is intended to contribute to the development of epidemiological models to predict the evolution of the pandemic at the local level. It is expected to develop into a permanent surveillance network over the territories, providing early, real-time epidemiological indications. Wastewater monitoring could also feed a pool of control samples to determine retrospectively when a new outbreak of viral infection has entered a territory.*

**Key words:** RNA viruses; virus diseases; environment and public health; water microbiology; disease transmission; epidemics; epidemiological monitoring.

De nouveaux virus pathogènes humains ont été découverts au cours des dernières décennies et la grande majorité des maladies qu'ils provoquent, et qui se sont révélées (Ebola, Zika, Nipah, etc.), sont des zoonoses que l'humain contracte par contact avec les animaux sauvages ou d'élevage. L'augmentation du nombre de découvertes de nouveaux virus ne peut pas être attribuée seulement aux progrès scientifiques en virologie. Nous assistons à une augmentation du nombre et de la fréquence de maladies infectieuses virales épidémiques, voire pandémiques.

Plusieurs pandémies se sont récemment succédées : le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), dû au coronavirus SRAS-CoV-1 en 2003, avec plus de 8 000 cas dans 29 pays, la grippe aviaire liée au virus H1N1 en 2009-2010 avec 60 millions de cas dans 214 pays, et le *Middle-East Respiratory Syndrome* (MERS) dû au coronavirus MERS-CoV en 2012-2015 avec environ 2 500 cas dans 27 pays.

En décembre 2019, une épidémie due à un nouveau coronavirus, le SARS-CoV-2, a été signalée en Chine et s'est rapidement propagée à l'échelle mondiale avec plus de 153,2 millions de cas confirmés de Covid-19 (*coronavirus disease*) et plus de 3,2 millions de décès comptabilisés par l'Organisation mondiale de la santé au 4 mai 2021 [1].

La stratégie actuelle de lutte contre une épidémie de nouvelle maladie contagieuse, notamment si elle est à transmission interhumaine aérienne et par contact mains-visage, est de réagir après son apparition par la mise en place d'une surveillance sanitaire qui nécessite la conception et la distribution rapide et massive de

nouveaux tests de dépistage, suivie au besoin par des mesures de police sanitaire visant la diminution de la circulation de l'agent infectieux dans la population avec dispositifs barrières et distanciation physique. Parallèlement, de nouveaux vaccins doivent être développés et mis à disposition rapidement et de nouveaux protocoles thérapeutiques doivent être mis au point pour les cas graves. Enfin, un soutien public au système de soins et à l'industrie pharmaceutique peut être nécessaire.

Les coronavirus SARS-CoV-2, présentent plusieurs particularités qui limitent l'efficacité de cette gestion sanitaire de l'épidémie. D'une part, leur transmission dans la population est rapide et, d'autre part, la proportion de cas bénins ou non spécifiques, donc non signalés, est forte. Par ailleurs, la proportion de personnes infectées parmi celles ne présentant aucun symptôme n'est pas négligeable. La proportion de personnes asymptomatiques parmi les infectées est importante : l'agence Santé publique France (SpF) précise que parmi les 169 470 personnes dépistées positives dans la population générale en semaine 10 de 2021, 46 % étaient asymptomatiques (les taux d'infections asymptomatiques estimés dans la littérature vont de 20 à 45 %) [2]. Le temps nécessaire pour qu'une personne contaminée soit infectée, développe des symptômes et obtienne un diagnostic clinique est long, ce qui entraîne une forte proportion de personnes pré-symptomatiques et contagieuses en période épidémique. Une étude récente à Singapour [3] suggère que les cas positifs asymptomatiques sont contagieux mais moins que les symptomatiques. Elle

observe aussi que la proportion de personnes à contacts étroits avec un cas index qui contractent l'infection ne dépend pas du statut sérologique du cas index.

## Les limites de la surveillance individuelle des infections virales

La stratégie de référence de surveillance sanitaire des maladies infectieuses est basée sur les données cliniques de morbidité et de mortalité attribuables produites par les hôpitaux, par la médecine de ville et des réseaux de médecins sentinelles quand ils existent. Ces données sont complétées par les résultats du dépistage individuel du portage du virus ou de la présence d'anticorps, réalisé sur les cas symptomatiques douteux captés en milieu clinique. Il est étendu au contrôle des voyageurs aux frontières, aux catégories de personnes résidentes considérées comme les plus sensibles dans la population générale et aux contacts identifiés, même en l'absence de symptômes.

En raison des caractéristiques des infections virales à transmission interhumaine aériennes et par contact mains-visage, notamment la Covid-19, cette stratégie de référence présente des limites majeures qui sont exposées ici.

– Un manque de sensibilité : cette modalité de surveillance ne peut capter qu'une fraction de la population infectée et ne comptabilise pas les cas bénins ou les asymptomatiques. Elle conduit donc souvent à une sous-estimation de la prévalence et donc de l'incidence de l'infection. Ce biais fondamental peut être limité notamment par des campagnes massives de dépistage aléatoire du portage du virus dans la population générale, le suivi des contacts par téléphone mobile et les systèmes d'auto-déclaration [4]. Cet effort est actuellement mené par les pays les plus riches car, selon Polo *et al.* [5], « *en théorie, les tests individuels de dépistage dans la population générale en échantillonnage aléatoire représentent la mesure la plus précise de la prévalence de l'infection ; cependant l'échelle spatiale et temporelle du dépistage qui est requise pour obtenir la pénétrance adéquate pour obtenir des informations granulaires est impraticable ou économiquement difficile pour la plupart des pays* ».

– La difficulté du dégageant d'une tendance à la hausse ou à la baisse de la propagation spatio-temporelle de l'épidémie. Deux paramètres contrôlent cette dynamique :  $R$ , le taux de reproduction de la maladie à l'instant  $t$  [6, 7], défini comme nombre moyen d'infections produites par une seule personne infectée dans une population partiellement immunisée, qui est un indicateur essentiel pour évaluer si les interventions non pharmaceutiques visant à atténuer l'épidémie sont efficaces ( $R$  devenant inférieur à 1) ; et  $T_g$ , le temps de génération du micro-organisme [7], défini comme le temps moyen entre l'apparition des symptômes du cas primaire et des cas secondaires ( $T_g$  dépend du taux de reproduction du virus, du délai de

déclenchement de la phase d'excrétion par le malade et des modalités de dispersion et de survie du micro-organisme dans l'environnement). Dans les cas des dernières influenza saisonnières ou du SRAS,  $R$  était de l'ordre de 4 et  $T_g$  de l'ordre de deux à quatre jours en début d'épidémie [7] : un malade primaire était susceptible de donner lieu à quatre cas secondaires en deux à quatre jours. Les valeurs de ces paramètres varient au cours de l'épidémie, du fait des modifications de l'interaction virus-Homme et des mesures prises pour limiter la diffusion de l'agent infectieux. L'incertitude sur la détermination de ces paramètres peut conduire à une modélisation erronée de l'évolution de l'épidémie sur laquelle va se reposer la gestion de santé publique.

– La difficulté de comparer le diagnostic épidémiologique d'un endroit à l'autre, donc à construire une vision d'ensemble par agrégation des données. Ce problème est lié aux conditions locales de mise en œuvre de la surveillance sanitaire, difficiles à standardiser, notamment en raison de la variabilité induite par les différences de nature et de disponibilité des tests de dépistage selon les pays ou les régions.

– Un manque de réactivité : l'épidémie n'est détectée que lorsqu'elle est déjà installée et l'alerte ne peut être que tardive.

– La lourdeur de l'investigation épidémiologique de terrain consistant à tracer les cas contacts à l'occasion du dépistage, les isoler puis enquêter par questionnaire médical individuel pour remonter à la source de l'épidémie (patient index).

– Le risque de stigmatisation de la personne diagnostiquée positive.

Il existe donc le plus grand besoin d'une stratégie alternative et/ou complémentaire, visant la communauté dans son ensemble plutôt que l'individu, pour étudier la propagation de ces maladies virales [8].

## Les applications sanitaires déjà connues de la surveillance des virus dans les eaux usées (EU)

L'idée de rechercher les virus dans les EU, pour fournir des informations locales sur la prévalence d'une maladie virale ou sur l'efficacité d'une vaccination dans la population desservie par un réseau d'assainissement, est ancienne. Elle permet aussi d'indiquer simultanément quelles maladies sont transmises au sein d'une population presque en temps réel.

Elle repose sur le constat que les virus entériques, qui sont suivis par des systèmes de surveillance clinique, sont excrétés massivement dans les selles et dans l'urine, puis collectés et évacués dans les égouts qui deviennent une source alternative et complémentaire d'informations. Pour d'autres, comme les virus Saffold, cosavirus et

salivirus/klassevirus, qui sont rarement ou jamais cliniquement surveillés, les EU sont d'ailleurs potentiellement la seule source d'informations [9].

Ainsi, une surveillance « environnementale » des poliovirus dans le cadre du programme de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) d'éradication mondiale de la poliomyélite, qui incluait des analyses dans les eaux d'égouts et les boues de station d'assainissement des eaux usées (STEU), a été mise en œuvre en France à partir de 1975 et jusqu'à récemment [10], conformément aux recommandations de la Commission nationale de certification de l'éradication de la poliomyélite (1998). Elle l'a été également aux Pays-Bas [11], en Finlande et en Israël [12]. Elle permet de suivre l'évolution spatiale et temporelle des concentrations virales en zone épidémique et de détecter une circulation résiduelle dans les pays endémiques. Elle a aussi été utilisée plus récemment pour la détection et le suivi d'épidémies de gastroentérites et de rougeole aux Pays-Bas [13], et d'hépatite A [12]. Ces études montrent une bonne liaison temporelle entre les épidémies virales locales et des concentrations élevées des virus correspondants dans les EU.

La sensibilité de l'analyse permet en outre de déterminer le moment où un nouveau virus s'introduit dans une population [14, 15] avant sa reconnaissance clinique dans la collectivité. Ceci permet de prendre précocement des mesures de santé publique et d'affecter aux zones potentiellement touchées les ressources nécessaires pour la lutte [16-18]. Inversement, l'absence prolongée de détection, lorsque le nombre de cas infectés diminue à la suite d'interventions de santé publique, peut valider la fin de la circulation du virus dans la population, qui est le signal attendu pour le succès d'une campagne de vaccination [19].

La surveillance des virus entériques dans les EU a permis de mesurer les variations génétiques dans les souches circulantes, soit dans le temps, soit dans l'espace et de détecter l'apparition de nouveaux variants infectieux [20, 21]. Elle permet aussi de remonter à la source humaine d'une souche particulière voire d'identifier des quartiers ou des habitations où vivent des personnes contaminées [22], ce qui n'est pas sans soulever des questions d'éthique.

## Les acquis et limites de l'épidémiologie basée sur les eaux usées (EBEU)

L'EBEU est une méthode intégrée basée sur le traitement et l'interprétation épidémiologique de données analytiques des EU relatives à des cibles moléculaires, appelées biomarqueurs, excrétées dans les matières fécales ou les urines par la communauté raccordée au réseau de collecte des EU dans une zone géographique

définie. Toute substance excrétée par l'humain, stable et dosable dans les EU, peut être utilisée pour calculer la concentration d'origine excrétée par la population raccordée au réseau d'assainissement échantillonné et estimer les concentrations d'exposition de cette population.

Ces biomarqueurs endogènes sont, par exemple, des métabolites résultant de l'exposition à des drogues, ou à des polluants comme les pesticides. Les biomarqueurs exogènes sont des produits chimiques d'exposition ou leurs produits de dégradation dans l'environnement, ou des micro-organismes infectieux et leurs formes de dénaturation dans l'environnement.

La présence d'un biomarqueur dans les EU devient un indicateur épidémiologique, si le calcul de sa charge quotidienne par habitant est possible, ce qui permet d'estimer la population touchée. En suivant en temps réel l'évolution spatio-temporelle de cet indicateur dans la communauté, en lien avec ses habitudes de vie, l'effet des actions de santé publique prises pour contrôler le problème de santé est alors plus facile à mesurer.

Dès 2001, Daughton avait contribué à diffuser l'hypothèse que la quantité et la variété des résidus de médicaments dans les EU reflétait l'utilisation des médicaments par la population [23]. En 2005, Zuccato *et al.* [24] ont estimé ainsi le nombre de consommateurs de cocaïne dans des collectivités. Les recherches sur l'EBEU se sont alors multipliées dans le monde et un Observatoire européen des drogues et des toxicomanies mesure chaque année les évolutions des consommations de drogues illicites dans plusieurs grandes villes européennes [25-28]. L'EBEU a été mise en œuvre pour tracer l'utilisation du médicament antiviral Tamiflu pendant la pandémie de grippe A de 2009 [29]. Elle a aussi été étendue à l'exposition aux pesticides et aux métaux lourds [29]. Enfin, certains pays comme la Chine, l'utilisent pour l'évaluation d'habitudes sociales de consommation d'aliments ou de produits chimiques [29].

L'application de l'EBEU aux marqueurs exogènes des maladies infectieuses (l'agent pathogène en lui-même étant un biomarqueur de sa propre circulation dans les populations) est forcément limitée à des micro-organismes infectieux qui ne se multiplient pas dans l'environnement, qui y persistent suffisamment longtemps et qui sont détectables à faible concentration. Tel est notamment le cas des virus qui se multiplient exclusivement dans des cellules-hôtes. À l'entrée d'une STEU, les mesures directes ou indirectes de concentration de virus humains ou de fractions de ces virus représenteront les quantités évacuées dans les EU par la population raccordée au réseau d'assainissement considéré. Chaque concentration de virus dans les EU (en nombre de copies de génome/m<sup>3</sup>) est alors rapportée au flux d'EU (en m<sup>3</sup>/jour), et si le taux moyen d'excrétion (en nombre de copies par jour et par individu infecté) est connu, il est possible de calculer la taille de la population infectée correspondante (en nombre d'individus) et de la rapporter à la taille de la

population contributrice pour calculer la prévalence locale d'infection. Il est donc possible de traduire de manière systématique une série chronologique de concentrations de virus à l'émissaire d'un réseau d'assainissement en une série chronologique de nombre de personnes infectées dans la population qui est raccordée à ce réseau d'assainissement. Ainsi, l'EBEU a pu être utilisée en 2017 pour l'estimation de l'évolution temporelle locale de la prévalence de la poliomyélite [30]. Toutefois, cette traduction reste discutable, car le calcul repose sur de nombreuses hypothèses qui sont encore mal quantifiées. Les résultats de l'EBEU doivent donc être interprétés strictement dans le cadre des éléments objectifs fournis pour les calculs et les extrapolations doivent être prudentes [8].

## Le SARS-CoV-2 dans les eaux usées

### Sa présence dans les selles et dans les urines

Une fraction significative de sujets infectés montre des symptômes gastro-intestinaux avec nausées, vomissements et diarrhées, tels qu'observés en Chine pour 61 % des patients [31], ou ailleurs pour 10-11 % des patients [32]. Le virus peut infecter les cellules épithéliales glandulaires gastro-intestinales ou entérocytes, être libéré dans la lumière intestinale [33, 34] et être présent dans les selles. Selon la revue de Saawarn et Hait [35], les détections par PCR sont positives dans 15 à 50 % des échantillons de fèces et dans certains cas à 80-90 %. Les concentrations estimées varient de  $10^5$  à  $10^9$  unités ARN par gramme de fèces. Les valeurs sont supérieures en cas de diarrhée. La détection du génome dans les selles des cas symptomatiques graves ou légers est continue pendant trois à quatre semaines après le début des symptômes, plus forte en semaines 3 et 4 qu'en semaine 2 et décroît fortement après la 5<sup>e</sup> semaine [36, 37]. La durée d'excrétion virale dans les selles serait même plus longue que la sécrétion par les voies respiratoires [38]. La revue de Van Doorn *et al.* [39] porte sur des études principalement réalisées en Chine avec des quantifications de l'ARN viral par PCR dans les fèces. Dans 96 % des 95 études, l'ARN a été détecté chez au moins un patient inclus dans l'étude ; 43 % des patients présentaient un ou plusieurs échantillons positifs ; 51,8 % de la somme des patients examinés dans les études incluant plus de 10 personnes étaient positifs mais les résultats présentaient une grande hétérogénéité d'une étude à l'autre. La détection du génome du virus peut être positive jusqu'à 70 jours après les premiers symptômes et 26 jours après la sortie de l'hôpital, le maximum étant atteint vers 25 jours après les premiers symptômes. Dans certains cas, les analyses se sont révélées positives dans les fèces en

moyenne jusqu'à 12,5 jours après que les essais soient devenus négatifs dans les échantillons prélevés dans les voies respiratoires. Patel *et al.* [40] citent une détection de génome viral pendant 22 jours dans des fèces, ce qui est une durée supérieure à la détection dans les voies aériennes des mêmes sujets.

Les données sur la concentration d'ARN viral dans les selles sont encore trop peu nombreuses et doivent être multipliées pour renseigner la variabilité de la charge fécale individuelle, temporelle au cours de l'infection et d'une personne à l'autre, notamment entre les personnes symptomatiques et les personnes présymptomatiques ou asymptomatiques.

Le dosage de l'ARN viral par biologie moléculaire (RT-qPCR) n'est pas le dénombrement des virus actifs qui nécessite un protocole avec culture cellulaire. Parmi les articles étudiés, deux seulement citent la présence du virus cultivable et infectieux dans les fèces, et l'un des deux ne les détecte que sur un seul des cas cliniques examinés. Dans une de ces études qui porte sur neuf cas examinés, aucun virus infectieux n'est détecté malgré un fort signal PCR [41]. Dans la revue de Van Doorn *et al.* [39], l'infectivité virale n'a été mesurée par inoculation sur cellules VERO qu'au cours de cinq études : sur un total de six patients, 35 % sont apparus positifs. Wang *et al.* [42], qui ont observé 29 % d'échantillons de selles positives sur 153 échantillons collectés à partir de 205 patients Covid-19, ont réalisé pour quatre échantillons fortement positifs par PCR, une simple observation microscopique qui leur a fait conclure (de manière contestable) que les virus étaient infectieux parce que « intacts ».

Il apparaît donc à ce jour que la présence de virus infectieux dans les selles n'est pas véritablement affirmée alors que la présence d'ARN est mise en évidence dans environ 50 % des échantillons avec une grande variabilité de concentrations mesurées.

Dans les urines, sept des 12 études recensées ne trouvaient aucune présence d'ARN viral et les autres un taux de positivité de 1 à 11 %. Aucun des 72 échantillons d'urine recensés par Wang *et al.* [42] n'était positif. Dans les urines, la présence de génome viral n'est donc confirmée que dans un très faible nombre de cas et la présence de virus infectieux n'a pas été étudiée.

### Ses capacités de persistance dans les eaux usées

Le SARS-CoV-2, comme le SRAS-CoV-1 et le MERS-CoV, virus respiratoires typiques, peuvent être détectés dans les effluents liquides urbains, au même titre que les virus nus entériques. Mais qu'en est-il de la forme infectieuse ?

Le SARS-CoV-2 infectieux serait particulièrement résistant dans l'air et sur certaines surfaces [43]. Ces virus enveloppés sont dégradés dans l'environnement aquatique sous l'effet de la température, du pH, du rayonnement

UV, et de la prédation par la population microbienne présente. La matrice des EU urbaines constitue un milieu agressif et toxique qui est défavorable à leur persistance.

Elsamadony *et al.* [44] estiment que le SRAS-CoV-1 reste intact dans les eaux usées hospitalières pendant environ deux semaines à 4 °C et deux jours à 20 °C. Gundy *et al.* [45] montrent que le temps de réduction de 99,9 % des virus actifs détectés est de 10 jours à 23 °C et 100 jours à 4 °C en eau propre, alors qu'il n'est que de deux à quatre jours dans l'EU à 23 °C.

Patel *et al.* [40] précisent que, selon le modèle de Hart et Halden, la « demi-vie » du génome de SARS-CoV-2 détectable dans les EU serait entre 4,8 et 7,2 heures à 20 °C et une réduction de 99,9 % serait prédite entre 48 et 72 heures à 20 °C. Pour des coronavirus TGEV et MHV, Casanova *et al.* [46] observent des T99 (disparition de 99 % du signal) de 17 à 22 jours à 25 °C dans de l'eau propre et de sept à neuf jours dans de l'EU décantée pasteurisée. Pour la température de 4 °C (qui n'est pas classique dans les EU mais s'observe dans les eaux de surface), la concentration de virus infectieux diminue d'une puissance de 10 après quatre semaines.

Silverman et Boehm [47] déterminent, pour les coronavirus humains, une constante moyenne de décroissance de  $0,19 \pm 0,06 \text{ J}^{-1}$  ( $\text{J} = \text{jour}$ ) à 22-25 °C dans une eau tamponnée qui augmente à  $2,0 \pm 0,03 \text{ J}^{-1}$  dans de l'EU stérilisée, sans toutefois préciser s'ils utilisent la PCR ou la culture cellulaire.

Carducci *et al.* [48] observent que l'infectivité du SRAS-CoV sur cellules devient indétectable après trois-quatre jours à température ambiante dans des eaux propres (mais y reste détectable pendant 14 jours à 4 °C), alors que la perte d'infectivité est plus rapide dans des EU. Le poliovirus (virus nu) « survivrait » plus longtemps que les coronavirus (virus enveloppés). Cependant, plusieurs études, dans la dernière décennie, ont montré que tous les virus enveloppés ne perdent pas rapidement leur infectivité, comme attendu [5]. Ces résultats contradictoires pourraient être dus à des biais de méthode pour l'extraction des virus de la matrice et leur concentration, car les méthodes utilisées pour ces virus enveloppés ont été mises au point pour les virus entériques qui sont nus. La question de savoir si un virus infectieux enveloppé persiste assez longtemps dans l'EU pour représenter une source de contamination significative dans l'environnement induisant notamment un risque pour la santé humaine, n'est donc pas encore bien clarifiée par la recherche.

Dans les EU traitées prélevées en sortie de STEU, Westhaus *et al.* [49] n'observent aucun signe de SARS-CoV-2 infectieux après culture sur cellules Caco2.

### Sa quantification dans les eaux usées

Pour pouvoir utiliser la surveillance du SARS-CoV-2 à des fins épidémiologiques, il faut disposer de données quantitatives en nombre suffisant et d'excellente qualité [9].

– *La stratégie d'échantillonnage* est très importante et doit correspondre à la question posée. Le prélèvement en entrée de la STEU caractérise la globalité de la population raccordée mais c'est là que la dilution est la plus forte et le temps de séjour le plus élevé, contribuant à la destruction partielle ou totale du virus cible. Prélever trop en amont sur le réseau réduit la taille de la population excrétrice raccordée mais permet d'obtenir une eau dans laquelle le virus a séjourné moins longtemps. L'échantillonnage ponctuel au pied d'un immeuble, comme évoqué à Marseille, est trop aléatoire car il est quasiment impossible de connaître le moment de la journée où les habitants infectés de cet immeuble vont éliminer, à moins de disposer d'un bassin de rétention permettant de moyenniser les eaux rejetées de 24 heures. Le plan d'échantillonnage des EU mis en œuvre doit aussi s'attacher à prendre en compte l'ensemble des sources de variabilité temporelle de la concentration virale des eaux usées : la consommation d'eau potable individuelle du jour, ou le débit moyen du jour en entrée de STEU, la population raccordée au réseau, la dilution temporaire des EU due aux précipitations ou autres variations saisonnières affectant le débit. Un échantillon composé de plusieurs prélèvements d'un volume asservi à la mesure en continu du flux des EU et répartis sur 24 heures est certainement la meilleure option. Prévoir des réplicats pour chaque point de prélèvement est aussi recommandé. L'augmentation de la représentativité de l'échantillonnage est un enjeu majeur pour l'avenir de la surveillance virale dans les EU.

– *Les méthodes de concentration et d'extraction* ne sont pas standardisées pour les virus enveloppés et l'estimation de leur rendement devrait être faite à chaque étude, car celui-ci dépend de la matrice utilisée (eau usée primaire ou secondaire, boue de décantation, etc.) [50]. Ces méthodes sont basées sur l'ultrafiltration, la séparation en deux phases, l'exclusion particulaire, la filtration sur gaze électro-négative ou l'ultracentrifugation. Les auteurs suggèrent d'harmoniser en utilisant pour les petits volumes une préfiltration à larges pores suivie d'un ajout de sel puis l'usage d'une membrane électro-négative ou, pour les plus grands volumes, la séparation par ajout de polyéthylène glycol. Les laboratoires utilisent ensuite des méthodes différentes d'extraction des virus intacts et des traces de leur génome. Les taux de rendement des concentrations-extractions varient, selon les auteurs, de 6 à 35 % [22-51], ce qui mérite d'être nettement amélioré dans l'avenir.

– *Les méthodes analytiques de dosage* employées ont été comparées [40-52]. La plus fréquemment employée est la quantification des traces d'ARN viral par PCR quantitative à transcriptase reverse (RT-qPCR). Des essais comparatifs sur divers virus dans des EU ont été réalisés par deux laboratoires en Australie [53] et donnent des résultats qualitatifs similaires à environ 74 %, mais des différences importantes de résultats quantitatifs peuvent être dues à des différences de présence d'inhibiteurs de PCR dans la

matrice EU. S'y ajoutent des différences de sensibilité liées à la performance de l'appareillage utilisé qui varie selon les laboratoires et au choix des amorces utilisées qui peuvent cibler diverses régions du génome viral, par exemple les fragments IP2 et IP4 du gène de la RNA polymérase RNA dépendante, le fragment E du gène de l'enveloppe protéique, ou les fragments N1 et N2 du gène de la nucléoprotéine. Plusieurs études ont utilisé ces cinq cibles pour la détection de l'ARN du SARS-CoV-2 dans les EU et ont constaté que seulement 10 % des échantillons donnent des résultats positifs dans ces cinq tests, ce qui indique la nécessité d'en utiliser plus d'un pour augmenter la robustesse du résultat du titrage [54]. Des progrès analytiques sont donc attendus pour réduire l'effet inhibiteur de la matrice et augmenter la sensibilité de la détection.

– *Le choix de la matrice* détermine aussi la sensibilité du dosage. Dans les STEU, des dosages effectués à partir d'échantillons de boues primaires sont apparus plus sensibles que dans les EU brutes [55, 56]. Elles conduisent aussi selon certains auteurs à préférer les boues primaires de STEU qui présentent l'avantage sur l'EU de fournir un échantillon bien mélangé et concentré. Dans l'étude de Peccia *et al.* [56] réalisée du 19 mars au 1<sup>er</sup> mai 2020 à New Haven, Connecticut (États-Unis) sur une STEU desservant environ 200 000 personnes, avec un nombre total de cas symptomatiques confirmés variant de moins de 29 à 2 711, les concentrations de l'ARN du SARS-CoV-2 signalées étaient, dans les boues primaires, de deux à trois ordres de grandeur supérieurs à celles des EU brutes.

– *Résultats publiés* : le relargage de SARS-CoV-2 dans les EU urbaines est estimé entre  $56,6 \cdot 10^6$  et  $11,3 \cdot 10^9$  unités génome/personne infectée/jour. Ceci se traduit selon Hart et Hadden [57] par des concentrations de 0,15 à  $141,50 \cdot 10^6$  unités génomes par litre d'EU en Amérique du Nord et en Europe (*tableau 1*). Ces valeurs sont proches des dénombrements moyens d'entérovirus dans les EU estimés par Bisseux *et al.* qui sont de l'ordre de  $10^6$  par litre [20]. Ahmed *et al.* [58] en Australie ont développé un modèle en prenant pour hypothèse un relargage d'ARN du virus selon une distribution log-normale uniforme, qui donne de 2,56 à 7,67 log copies de génome/g de fèces.

## Intérêt épidémiologique de la surveillance du génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées

Les premières études publiées, presque toutes inventoriées par Medema *et al.* [61], portent sur le premier semestre 2020, et sont de durée variable. Elles sont situées dans des villes d'Europe (en France [60], en Italie [21], en Espagne [54, 62, 63], aux Pays-Bas [64],

**Tableau 1.** Exemples de résultats publiés de quantification de génome du virus SARS-CoV-2 dans des eaux usées brutes (EUB), des eaux usées traitées (EUT) et des boues de STEU.

*Table 1. Examples of published results of SARS-CoV-2 genomic quantification in raw sewage (EUB), treated wastewater (EUT) and sewage sludge (Boues) of wastewater treatment plants.*

Type d'eau	Concentrations en copies de génome	Référence
EUB	De $10^1$ à $10^{10}$ c/L	[52]
EUT	De $< 1$ à $10^5$ c/L	
Boues	De $10^4$ à $10^9$ c/kg	
EUB	De $10^3$ à $10^7$ c/L	[8]
EUT	De 0 à $10^7$ c/L	
EUB	De 20 à $3 \cdot 10^6$ c/L	[59]
EUT	De $10^3$ à $10^5$ c/L	
EUB région parisienne	De $5 \cdot 10^4$ à $5 \cdot 10^6$ c/L	[60]

en Allemagne [49]), d'Asie (en Israël [65], en Chine [38], en Inde [66], au Japon [51-67], en Australie [53-58]), et en Amérique (aux États-Unis [68], au Mexique [69]). Depuis, le nombre de publications sur l'intérêt épidémiologique de la surveillance du SARS-CoV-2 dans les EU est en augmentation rapide.

Ces études montrent toutes que le suivi systématique de la charge des EU en génome de SARS-CoV-2 peut constituer un outil de gestion sanitaire de l'épidémie de Covid-19 complémentaire de la surveillance sanitaire. Nous en présentons ici six utilisations possibles.

### Un signal d'alerte précoce

En Italie, deux laboratoires ont montré par deux méthodes différentes la présence de l'ARN de SARS-CoV-2 dans des EU dès le 18 décembre 2019 [70]. Des traces du virus ont été détectées dans les EU de Barcelone 41 jours avant le premier cas recensé [54]. Aux Pays-Bas, les 4-5 mars, un ou plusieurs fragments de gène ont été détectés dans les EU de trois sites aux concentrations de 2,6 – 30 copies de génome par mL alors que la prévalence était estimée rétrospectivement autour de un cas pour 100 000 habitants ou moins [64]. À Amersfoort, un fragment de génome du virus a été détecté dans les EU six jours avant que les premiers cas soient publiés [64]. Une étude sur les professionnels de santé aux Pays-Bas [71] a montré que le virus circulait déjà sans être détecté une semaine avant le 27 février 2020, date du premier enregistrement de cas de Covid-19, ce qui suggère une forte prévalence de cas non diagnostiqués, de cas symptomatiques légers non détectés ou d'individus excréteurs asymptomatiques. La détection dans les EU

survient quand la séroprévalence atteint un certain seuil. Hart et Halden [57] l'évaluent à 0,88 % dans les pires conditions, Ahmed *et al.* [58] à seulement 0,025 % et Chavarria-Miro *et al.* [54] à 0,09 et 0,12 %. Tous ces résultats suggèrent que l'augmentation de la concentration en ARN de SARS-CoV-2 à l'entrée des STEU peut servir d'alerte précoce [18].

### Un signal de fin d'épidémie

La décroissance du titre du SARS-CoV-2 suivie de l'absence durable de sa détection dans les EU d'un réseau d'assainissement signale la réduction durable en dessous du même seuil de séroprévalence dans la population raccordée. Diverses études quantitatives, dont celles de Wurtzer *et al.* [60], de Nemudryi *et al.* [68] et de Chavarria-Miro *et al.* [54] démontrent en effet qu'une relation existe entre l'application des mesures de confinement et la réduction du signal dans les EU qui peut atteindre le seuil de détection de la méthode de dosage mise en œuvre.

Ces deux fonctions de signal (alerte précoce et fin d'épidémie) exigent de bons rendements d'extraction du coronavirus et/ou de son génome de la matrice, ce qui n'est pas encore le cas, et une grande sensibilité de la méthode analytique employée pour sa détection, en particulier la neutralisation des inhibiteurs de la PCR contenus dans la matrice, ce qui doit s'améliorer.

### Un outil de détection de variants génétiques

Les virus subissent en permanence des mutations de leur génome. Si ces mutations ne réduisent pas leur pouvoir infectant, elles sont conservées dans leur descendance. Elles peuvent donc servir de repères génétiques soit pour retracer l'ascendance virale d'une nouvelle souche, soit pour évaluer les différences d'évolution du génome du virus entre régions au fil du temps. Mais si l'analyse phylogénétique peut révéler l'histoire génétique d'une souche circulante, elle ne permet pas de comparer les pouvoirs infectants des souches variantes associées à des emplacements géographiques distincts.

Ce type d'étude a été réalisé sur le SARS-CoV-2 dès le début de la pandémie aux États-Unis par Nemudryi *et al.* [68] pour déterminer l'ascendance des souches du SARS-CoV-2 qui circulaient dans la région de Bozeman (États-Unis) le 27 mars 2020. Sur 14 970 génomes d'isolats cliniques provenant de 74 pays, la séquence du SARS-CoV-2 local isolé des EU différait par trois nucléotides seulement de celle de la souche de référence Wuhan-Hu-1/2019 et était très voisine de souches isolées en Californie et à Victoria (Australie). Les auteurs n'ont pu comparer le

génotypage de leurs isolats d'EU avec un génotypage d'isolats cliniques de Bozeman, qui aurait permis de déterminer si les ratios des variants du SARS-CoV-2 dans les EU traduisent des ratios de variants identiques dans la population.

La surveillance spatio-temporelle des variations génétiques du SARS-CoV-2 prend une importance énorme depuis qu'il apparaît que ce virus évolue très rapidement au cours de la pandémie, quoiqu'à un taux plus faible que les virus Influenza [72], déjouant la stratégie d'immunisation de la population par la vaccination [73], de surveillance de l'infection par tests de dépistage PCR et de surveillance des traces d'ARN viral dans les EU par quantification RT-qPCR [74], ce qui oblige l'industrie pharmaceutique et la bio-ingénierie à s'adapter en continu à l'apparition des nouveaux variants.

### Un indicateur du nombre total d'excréteurs du SARS-CoV-2

Sachant que le temps entre l'excrétion du virus par la personne infectée et la détection de son génome dans les EU ou les boues primaires est généralement de l'ordre de quelques heures (2 à 4 heures de transport vers la STEU et moins de 5 heures additionnelles de temps de résidence au sein de l'équipement de sédimentation si la concentration de virus est mesurée dans les boues), sachant aussi que la durée de persistance du génome viral dans les EU est supérieure à ce délai, la concentration mesurée dans les EU à l'instant  $t$  représente une dilution (par l'eau entrante dans le réseau d'assainissement) de la charge fécale qui y est déposée quelques heures plus tôt par la population raccordée.

Dans les 21 études examinées par Medema *et al.* [61] les méthodes employées correspondent à deux approches distinctes de cette relation entre contamination virale des EU et prévalence de l'infection ou de la maladie.

### Recherche de corrélation linéaire de type dose-réponse

C'est l'approche la plus immédiate et la moins exigeante en termes de plan d'échantillonnage. Westhaus *et al.* [49] l'ont utilisée avec des prélèvements d'EU asservis au flux sur 24 heures à l'entrée de neuf STEU en Allemagne le 8 avril 2020 et le nombre de cas aigus de Covid-19 déclarés dans les neuf bassins de collecte d'EU correspondants, tous différents par la taille et le débit des EU. Le jour de l'échantillonnage, la prévalence par bassin ( $N \cdot n^{-1}$ ) variait de 36 à 1 037 cas aigus par 100 000 habitants. Pour chaque STEU, la charge en génome de SARS-CoV-2 (en copies d'ARN viral par jour) était calculée à partir de la mesure par RT-qPCR de la concentration  $C_{EU}$ . L'analyse statistique a montré que le nombre de cas aigus de

Covid-19 s'accroissait avec l'augmentation de la charge en génome de SARS-CoV-2, avec toutefois une certaine dispersion autour de la droite de régression qui a été attribuée soit à des variations dans le taux de récupération de l'ARN du virus d'une matrice à l'autre, soit à l'incertitude dans les données de prévalence utilisées (le nombre de cas non déclarés est inconnu, et le nombre de personnes séjournant dans la zone de collecte peut différer du nombre nominal de résidents raccordés à l'égout).

Avec la même approche, Bar-Or *et al.* [65], dans une étude préliminaire portant sur l'échantillonnage à trois dates différentes d'une seule STEU, ont dégagé une relation linéaire dépendante de la dose entre quantification du virus par RT-qPCR et nombre de tests positifs dans la population du bassin de collecte. Ils l'ont proposée comme un outil de surveillance épidémiologique assorti de précautions sur son potentiel d'application.

Une corrélation est également observée dans une ville mexicaine par Carillo-Reyes *et al.* [69] : environ 50 copies de génome/mL pour 100 cas cumulés et au maximum  $10^4$  copies de génome/mL pour  $10^3$  cas cumulés. Mais cette relation n'est pas confirmée quand le génome est détecté dans les boues du décanteur secondaire.

Cette corrélation est également confirmée au Japon par Hata *et al.* [51] qui l'obtiennent selon leur méthode et dans les villes étudiées, dès l'apparition d'une incidence de 10 cas confirmés pour 100 000 habitants.

#### Estimation de la prévalence de l'infection à partir de $C_{EU}$ : l'EBEU de la Covid-19

Toutes ces études de corrélation ont encouragé à inférer la prévalence de l'infection par SARS-CoV-2 dans une communauté à partir de l'abondance du virus correspondant dans l'EU produite par cette communauté et collectée par son réseau d'assainissement [15-18]. C'est l'approche modélisatrice de l'EBEU qui a été mise en œuvre dans plusieurs études [38-54-59-61].

La concentration des traces du virus dans un prélèvement d'EU composite sur 24 heures ( $C_{EU}$  en nombre de copies de génome par L) est posée comme directement liée au nombre de personnes excrétrices (N) parmi celles raccordées ce jour-là au réseau d'assainissement ( $n_j$ ) par l'équation théorique suivante, simple et intuitive, utilisée comme modèle par Ahmed *et al.* [58] puis par d'autres comme Chavarria-Miro *et al.* [54] sous des formulations variées :

$$C_{EU} = N \cdot m_{fiq} \cdot C_f \cdot Q_j^{-1}$$

où  $m_{fiq}$  est la masse fécale individuelle quotidienne (en g de fèces.personne<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>) ;  $C_f$  est la concentration d'ARN dans les fèces des personnes infectées (en nombre de copies de génome par g) ; et  $Q_j$  est le débit moyen du jour en entrée de STEU (en L par jour) ( $Q_j = ce_{ij} \cdot n_j + x - y$ , où  $ce_{ij}$  est la consommation d'eau de distribution publique du jour par individu raccordé au réseau [en L

personne<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>],  $n_j$  le nombre d'individus raccordés au réseau ce jour-là,  $x$  [en L/jour] le flux moyen de l'apport pluvial du jour [à ajouter en cas de réseau unitaire] et  $y$  le flux moyen des fuites du réseau du jour [en L/jour]). Tous les facteurs de cette relation varient dans le temps [61] et sont moyennés sur 24 heures.

Ce modèle permet de calculer à partir de  $C_{EU}$  à une date donnée la prévalence de l'infection ( $N \cdot n^{-1}$ ) c'est-à-dire la somme des cas symptomatiques diagnostiqués ou non, des cas présymptomatiques et des cas asymptomatiques. Mais son résultat ne pourra pas être comparé à la prévalence mesurée par la surveillance sanitaire. En effet, pour la connaître, il faudrait pouvoir financer un dépistage massif aléatoire du statut sérologique dans la population résidant dans le bassin de collecte des EU. Il reste la possibilité de comparer  $C_{EU}$  ou la prévalence d'infection calculée  $N \cdot n^{-1}$ , avec le nombre des cas de Covid-19 confirmés et enregistrés par le système de surveillance médicale dans le bassin d'assainissement considéré (N'), rapporté à la taille de la population raccordée (n). C'est seulement une fraction de la prévalence des infections, qui de plus introduit un décalage temporel dans la relation entre données environnementales et sanitaires. En effet, le retard, qui est la somme du délai entre le début de l'infection et celui des symptômes de la Covid-19 (qui déclenche le dépistage) et de la durée estimée entre le début des symptômes et l'hospitalisation, peut dépasser cinq jours [5].

Wu *et al.* [38] ont calculé une prévalence estimée de l'excrétion de SARS-CoV-2 à partir des concentrations mesurées de génome dans les EU. Les estimations variaient entre 0,1 % et 5 %, alors que la prévalence mesurée par le système de veille sanitaire à partir des tests de dépistage clinique positifs pendant la durée de l'étude était seulement de 0,026 %.

Ahmed *et al.* [58] ont utilisé une approche stochastique. La quantité de selles produite par personne et par jour est présentée sous la forme d'une distribution Log-normale des données de Rose *et al.* [75] : moyenne 2,11 u. $\log_{10}$  en g par personne. La charge fécale des selles en ARN est présentée sous la forme d'une distribution gamma de données de la littérature : 2,56 à 7,67 copies de génome par g de fèces. Une distribution de Monte-Carlo (10 000 itérations) a été utilisée pour obtenir une distribution du nombre d'infections à partir des concentrations mesurées d'ARN dans les EU. Sur une période de 4 jours, le modèle a donné une estimation de la prévalence médiane des infections (N/n) de 0,096 % variant entre 0,064 % et 0,142 %. Ce résultat était en accord raisonnable avec la prévalence de Covid-19 observée par les deux réseaux de santé primaire qui couvrent les limites territoriales de ces bassins de collecte des EU [58].

Chavarria-Miro *et al.* [54] ont obtenu avec l'application du même modèle des prévalences d'infection de 2 % et 2,4 % dans deux STEU le 13 avril 2020 et de 6,5 % dans

l'une des deux le 31 mars. Ces résultats concordent avec les estimations de séroprévalence (dirigée sur la protéine S) données par une étude : 5 % pour l'Espagne, 10 % pour la région de Madrid et 7 % pour la région de Barcelone.

L'écart important obtenu par Wu *et al.* [38] entre la prévalence d'infection estimée par le modèle et la prévalence observée par le système de veille sanitaire serait dû à la forte proportion de personnes infectées qui présentent peu ou pas de symptômes et à la sous-estimation du nombre réel de cas par le dénombrement des seuls cas cliniques pris en charge et confirmés au laboratoire. Une analyse récente des données de la surveillance sanitaire aux États-Unis estime par exemple que seulement 32 % des personnes infectées par le SARS-CoV-2 ont demandé des soins médicaux [76].

Des données de séroprévalence dans toute la population desservie (même si les anticorps contre le SARS-CoV-2 n'apparaissent que quelques semaines après l'infection initiale) ou des estimations de prévalence à partir de modèles épidémiologiques seraient plus appropriées pour la comparaison avec les estimations de prévalence de l'infection obtenues à partir des données de surveillance des EU [61].

Cette comparaison peut conduire à des améliorations mutuelles dans l'exactitude de l'estimation de la prévalence de l'infection, qui est essentielle pour surveiller la propagation de l'épidémie et proposer des procédures de contrôle adaptées et efficaces [60, 61]. En dépit d'une assez grande incertitude dans l'estimation de la prévalence par l'EBEU, cette modélisation peut aussi constituer un outil d'aide à la réponse à des questions spécifiques, complémentaire de la surveillance sanitaire, à condition de l'utiliser avec précaution [61].

### Un indicateur de tendance de l'évolution temporelle de l'épidémie

Lorsque les données quantitatives sur le génome du virus dans les EU proviennent d'un même laboratoire et que les données sur la prévalence proviennent d'une même source de veille sanitaire, et qu'elles forment deux séries chronologiques régulières et suffisamment longues, idéalement synchrones, il est possible de les aligner. Cet alignement, selon des modalités qui diffèrent d'une étude à l'autre, suffit à dégager des similitudes dans les tendances évolutives des deux séries.

C'est ce que font très tôt Wurtzer *et al.* [60] dans leur étude sur les EU de trois STEU de la région parisienne entre le 5 mars et le 23 avril 2020, ainsi que Saguti *et al.* [77] à Göteborg, Suède entre le 15 février et le 30 juin et Medema *et al.* [64] dans six villes des Pays-Bas entre le 27 février et le 29 mars, puis à Amsterdam entre le 1<sup>er</sup> mars et le 8 juillet [61]. Aux États-Unis, plusieurs études ont été aussi initiées : citons Nemudryi *et al.* [68] sur les EU

de Bozeman entre le 1<sup>er</sup> mars et le 20 juin et Peccia *et al.* [56] sur les boues primaires d'une STEU de Newhaven entre le 19 mars et le 1<sup>er</sup> mai.

Les prélèvements sont généralement réalisés en entrée de STEU. D'une étude à l'autre, les plans d'échantillonnage varient : nombre de sites, nombre d'échantillons, méthodes d'extraction et de concentration, mais la méthode de quantification de l'ARN viral utilisée est (presque) toujours la RT-qPCR.

Les données utilisées, environnementales ou sanitaires, peuvent être relatives plutôt qu'absolues. Les données de prévalence ne portent pas toujours, comme elles devraient, sur la population spécifiquement rattachée au réseau d'assainissement dans lequel se font les prélèvements. Ces données sanitaires diffèrent d'une étude à l'autre par leur nombre, leur type (le plus souvent le nombre de cas cliniques confirmés en laboratoire), et par leur source (le plus souvent les agences de santé publique ou les hôpitaux).

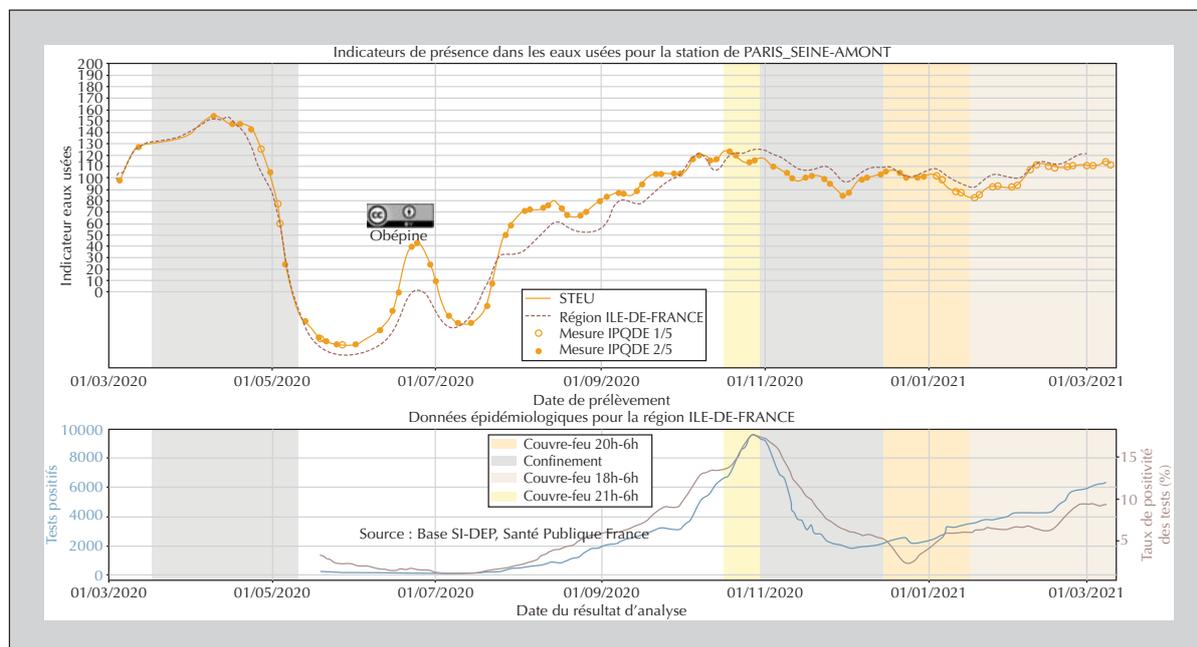
Néanmoins, l'observation d'un « certain parallélisme » des séries permet de conclure à une « similitude de tendances », et à faire de l'évolution temporelle de la concentration d'ARN du SARS-Cov-2 dans les EU un indicateur de tendance de l'évolution temporelle de la prévalence de la Covid-19 dans la population contributrice.

Plusieurs études ont produit suffisamment de données pour permettre de rechercher des corrélations temporelles entre les deux séries chronologiques. C'est le cas de Saguti *et al.* [77], et de Nemudryi *et al.* [68]. Ces corrélations valident bien la fonction d'indicateur épidémiologique de la surveillance des EU.

Quand les tendances de l'évolution temporelle du nombre de cas enregistrés et de celle des traces de génome de SARS-CoV-2 dans les EU sont aussi cohérentes, elles forment un ensemble synthétique et très visuel de données épidémiologiques complémentaires, facile à appréhender par le sens commun, et les autorités sanitaires en recueillent le retour d'information solide et communicable dont elles ont besoin pour mesurer l'effet des actions à grande échelle qu'elles ont décidées pour contrôler l'épidémie. Les courbes des études de Wurtzer *et al.* [60], de Nemudryi *et al.* [68] et de Chavarria-Miro *et al.* [54], qui couvrent chacune la première période de confinement, illustrent parfaitement l'impact de ces mesures. L'Observatoire épidémiologique des eaux usées en France<sup>1</sup> a rendu public le 25 janvier 2021 une série de courbes de tendance construites par traitement mathématique de données critiquées pour 33 STEU, celles d'Île-de-France débutant au premier confinement (*figure 1*).

Les courbes d'évolution temporelle de Saguti *et al.* [77], avec leurs séries de pics, correspondent à une autre stratégie de lutte (dite de l'immunité collective), appliquée en Suède au début de l'épidémie, consistant à

<sup>1</sup> www.reseau-obepine.fr



**Figure 1.** Comparaison des évolutions temporelles de la concentration de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées de la Station Paris Seine-Amont et du nombre de tests Covid-19 positifs en Île-de-France.

Les données environnementales publiées, analysées à l'échelle régionale, sont pondérées selon un « indicateur de précision de qualité des données expérimentales (IPQDE) ». À 1/5, la donnée est brute, à 5/5 elle est « validée par la prise en compte de toutes les données disponibles ». Ces données sont synthétisées par un indicateur de circulation du virus dans la population. On peut considérer qu'en dessous de 60 l'indicateur représente une circulation à bas bruit dans la population. Entre 60 et 80, l'indicateur représente une circulation moyenne dans la population, et au-dessus de 80, l'indicateur représente une circulation importante à très importante dans la population.

Les zones grisées correspondent aux périodes de confinement, les zones colorées à des périodes de couvre-feu.

**Figure 1.** Comparison between evolutions over time of wastewater concentrations of the SARS-CoV-2 genome in the PARIS SEINE AMONT wastewater treatment plant and the number of positive COVID-19 tests in the Ile de France region.

The published environmental data, analysed at the regional level, are weighted according to a "quality accuracy indicator of experimental data (IPQDE)". Score 1/5 means the data is raw, and 5/5 means it is "validated by taking into account all the data available". These data are synthesized by an indicator of virus circulation in the population. It can be considered that below 60, the indicator represents a low-noise circulation in the population. Between 60 and 80, the indicator represents an average circulation in the population and above 80, the indicator represents a significant to very important circulation in the population.

Shaded areas correspond to periods of confinement, coloured areas correspond to periods of curfew.

refuser les mesures collectives radicales (comme le confinement général) visant l'arrêt de la circulation du virus, et à plutôt conseiller aux résidents d'adhérer à de bonnes pratiques personnelles d'hygiène, de respecter dans les lieux publics la distanciation physique et les gestes barrières comme le port de masque, de développer le travail à domicile et de réduire les voyages autant que possible.

Cette fonction d'indicateur de tendance trouve aussi son utilité pour les actions de lutte contre l'épidémie à petite échelle : en l'absence de données de santé dans une petite communauté ciblée, la connaissance de l'évolution temporelle de la charge en génome de

SARS-CoV-2 des EU qu'elle produit pourra suffire à déclencher des mesures de prévention bien adaptées à la situation sanitaire locale.

### Un outil d'anticipation de l'évolution de la prévalence de la Covid-19

Parmi les études de tendance précédemment citées, plusieurs ont analysé les décalages temporels entre les séries chronologiques environnementales et sanitaires comparées. Nemudryi *et al.* [68] soulignent que l'évolution des concentrations en ARN du SARS-CoV-2 dans les

EU précède de deux à quatre jours l'évolution du nombre de cas confirmés par PCR. Au Canada, D'Aoust *et al.* [78] signalent aussi qu'avec l'application de leur protocole d'analyse, la détection dans les EU précède les informations sur le nombre de cas détectés de deux jours et du nombre d'hospitalisations de quatre jours.

Ces auteurs ont aussi constaté que la série temporelle des données de charge d'ARN viral des EU suit de cinq à huit jours celle des déclarations d'apparition de symptômes, données épidémiologiques recueillies dans le cadre d'enquêtes rétrospectives auprès de patients atteints qui avaient obtenus un résultat positif au test du SARS-CoV-2. En effet, le dépistage de la Covid-19 se produit habituellement aux États-Unis de trois à neuf jours après le début des symptômes et ce délai peut varier selon la disponibilité des tests, le comportement de recherche de soins, la charge de travail dans les laboratoires d'analyses médicales, et la stratégie de dépistage de l'État [78]. L'apparition des symptômes est la première estimation disponible du début de la propagation virale. Toutefois, ces données sont collectées rétrospectivement, ce qui empêche leur utilisation pour le suivi en temps réel de l'éclosion de l'épidémie. Or, cette étude montre que les charges en ARN viral des EU sont corrélées aussi avec l'apparition des symptômes. Leur évolution pourrait donc être utilisée pour suivre la progression de l'épidémie à ses débuts [78].

Les limites de la poussée épidémique ayant été définies comme étant l'apparition la plus précoce des symptômes (limite gauche) et la date à laquelle le dernier cas testé séropositif a été signalé (limite droite), pour suivre la fin de l'épidémie il faut utiliser l'évolution du nombre de cas testés séropositifs.

En Suède, Saguti *et al.* [77] ont trouvé une corrélation entre l'augmentation des signaux dans les EU et celle du nombre de patients Covid-19 nouvellement hospitalisés, avec le premier précédant le second de trois à quatre semaines. La transmission du virus précède habituellement l'hospitalisation de deux à trois semaines correspondant à une période d'incubation de deux à 14 jours suivie d'une hospitalisation environ une semaine après l'apparition des symptômes, comme observé en Chine par Bi *et al.* [79].

En région parisienne, Wurtzer *et al.* [60] observent aussi que la courbe de quantification dans les EU précède de une à deux semaines celle des consultations hospitalières pour symptômes de Covid-19. Cette avance a probablement plusieurs explications. La plus évidente est que la proportion de personnes symptomatiques dans la population est minoritaire et que la transmission du virus et son excrétion dans les selles se fait silencieusement bien avant l'enregistrement des premiers symptômes en médecine de ville ou aux admissions hospitalières. Dans le prolongement de cette étude, le réseau Obépine en France signale ce phénomène pour toutes les STEU suivies en Île-de-France, mais pas pour les STEU suivies en régions PACA,

Occitanie et Pays de Loire où les évolutions temporelles sont synchrones, et ne propose pas encore d'explication de ces variations d'un site de surveillance à l'autre.

L'avance temporelle de l'évolution de la contamination des EU par le virus sur celle de la prévalence de la Covid-19 en fait un outil important d'avertissement précoce, plus solide qu'une simple alerte basée sur une détection ponctuelle et aléatoire : quelques jours d'avance sont précieux pour l'élaboration d'une stratégie de lutte à grande échelle, qu'on sait d'autant plus efficace qu'elle démarre tôt. Ils sont aussi suffisants pour accélérer la préparation et la mise en place des mesures de prévention locales destinées à limiter la transmission dans des populations ciblées de petite taille, ce qui est le cas en début d'épidémie.

## Installation de réseaux sentinelle de surveillance du signal génétique viral dans les EU

L'OMS recommande cette méthode de surveillance dans certaines situations [80]. Un sommet mondial sur la surveillance des EU a été organisé par la *Water Research Foundation* [81]. Les premiers résultats publiés dans le monde ont en effet convaincu les autorités sanitaires nationales en Europe de l'intérêt de disposer de données de surveillance quantitative systématique au long cours du génome viral dans les EU, en de nombreux points du territoire. Elles en attendent de l'aide pour une gestion de la pandémie adaptée aux spécificités locales. La conservation à long terme des échantillons d'eaux usées dans des échantillothèques d'eaux usées locales permettrait aussi l'étude rétrospective de la circulation de futurs pathogènes émergents.

Dans l'Union européenne une étude de faisabilité a été mise en place sur les STEU de 52 villes dans 17 pays. Son but est de connecter les initiatives nationales et régionales de surveillance des EU en mettant en place des essais inter-laboratoires et des études de rentabilité [82].

En France, le ministère en charge de la Recherche a subventionné en juin 2020 à hauteur de 3,5 millions d'euros un réseau de surveillance des EU lancé le 5 mars 2020 en région parisienne pour qu'il s'étende progressivement à tout le territoire national (82 STEU le 16 novembre 2020, 158 STEU projetés à terme). Il est constitué par neuf laboratoires chargés d'assurer un suivi bi-hebdomadaire des EU répartis sur le territoire autour de quatre pôles de coordination qui organisent des essais inter-laboratoires pour produire des données comparables. Regroupés avec les opérateurs des systèmes d'assainissement surveillés, ces laboratoires constituent l'Observatoire épidémiologique des eaux usées (OBEPINE).

Des réseaux analogues ont été mis en place au Royaume-Uni et dans des États membres de l'UE et le plus ambitieux est celui des Pays-Bas avec la surveillance quotidienne de toutes les STEU du pays (plus de 300).

Par le biais du Règlement sanitaire international (2005) (RSI), l'OMS demande aux pays de signaler les événements inhabituels, graves, susceptibles de se propager et d'entraver les voyages et le commerce internationaux<sup>2</sup>. Ce concept s'applique dans le contexte des dangers naturels et des risques climatiques, mais également aux épidémies de maladies infectieuses<sup>3</sup>. La prochaine maladie infectieuse virale pourrait être plus mortelle et contagieuse que la Covid-19, et les gènes de résistance aux antimicrobiens deviendront plus courants chez les bactéries pathogènes, en raison de la difficulté à maîtriser le mauvais usage des antibiotiques et de l'utilisation accrue de désinfectants motivée par la lutte contre les épidémies en cours. Tiwari *et al.* [83] proposent un protocole qui intègre ce concept de système d'alerte précoce à l'EBEU sous le nom de Surveillance des eaux usées pour la prévision précoce des épidémies (SEUPPE).

## Conclusion

L'examen de la littérature récente montre déjà le grand intérêt que suscite la surveillance du génome du virus SARS-CoV-2 dans les eaux usées pour la gestion de l'épidémie de Covid-19. Les outils analytiques de cette surveillance (les cibles pour l'échantillonnage, les méthodes d'extraction et celles de dénombrement par biologie moléculaire) ont été adaptés aux virus enveloppés et appliqués dans de nombreux pays, mais des progrès méthodologiques sont encore nécessaires et une standardisation serait souhaitable pour permettre l'agrégation des données pour une surveillance mondialisée. Trop peu de travaux se sont portés sur l'étude de la présence de virus SARS-CoV-2 cultivable et infectieux dans les selles, les urines et les EU. Les quelques résultats publiés laissent penser à l'absence de risque de transmission fécale-orale, au moins dans les EU traitées non désinfectées qui sont rejetées dans le milieu récepteur, mais cela reste à confirmer.

Les études de suivi temporel réalisées montrent une assez bonne corrélation entre les courbes évolutives des nombres de cas et celles de la quantité de traces d'ARN de SARS-CoV-2 dans les EU ou les boues primaires. Plusieurs équipes confirment que l'évolution de la quantité de

traces de virus détectées par l'ARN viral dans les EU pourrait anticiper de deux à quatre jours celle du nombre de cas confirmés.

L'épidémiologie assistée par des analyses réalisées dans les EU (EBEU) consiste à calculer le nombre de cas à partir de la concentration dans les EU d'un biomarqueur associé à la maladie surveillée. Cet outil s'est développé depuis 10 ans, essentiellement dans le domaine du calcul des consommations de drogues illicites et a démontré son grand intérêt pour l'aide à la gestion des crises liées aux infections à entérovirus (virus de la poliomyélite notamment). Elle commence à être appliquée à la Covid-19 et les premiers résultats sont prometteurs. Il convient toutefois d'en interpréter les résultats avec les précautions de rigueur. Il ne faut pas assimiler la présence du génome à celle d'un virus cultivable infectieux. Il importe également de considérer la quantification du génome au point d'échantillonnage sur le réseau d'assainissement comme la résultante de l'excrétion du micro-organisme par la population raccordée en amont et pas comme un reflet de la circulation du micro-organisme infectieux dans cette population.

Le nombre de publications est en augmentation constante et rapide à l'heure où nous terminons la rédaction de cet article. Si les autorités politiques mondiales ont la clairvoyance de faire de ce domaine de recherche une priorité d'investissement au même titre que la recherche pharmaceutique sur les vaccins ou les tests biologiques, un bel avenir peut être prédit pour la surveillance continue des EU sur un réseau de sites sentinelles. Ce serait une source de progrès majeur, autant pour la gestion des épidémies d'infections virales existantes, que comme système d'alerte précoce contre l'émergence de nouveaux virus.

Le coût que représenterait une stratégie de prévention basée sur la surveillance continue et systématique des génomes viraux dans les EU, dans les régions du globe riches en eaux douces du moins, serait négligeable par rapport aux coûts faramineux d'une nouvelle catastrophe socio-économique. Elle contribuerait efficacement à l'éviter, en attaquant à temps l'épidémie à sa racine territoriale. L'actuelle pandémie de Covid-19 l'a amplement démontré à l'échelle planétaire. ■

## Remerciements et autres mentions

**Financement** : aucun ; **liens d'intérêts** : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

(...)

<sup>2</sup> <https://www.who.int/csr/disease/epidemic-focus/global-epidemic-respons-e/en/>

<sup>3</sup> [https://www.who.int/influenza/preparedness/pandemic/GIP\\_PandemicInfluenzaRiskManagementInterimGuidance\\_Jun2013.pdf?ua=1](https://www.who.int/influenza/preparedness/pandemic/GIP_PandemicInfluenzaRiskManagementInterimGuidance_Jun2013.pdf?ua=1)



# Surveillance de la COVID-19 dans les eaux usées

consulté en janvier 2023

Mesure de l'acide ribonucléique du virus SRAS-CoV-2 (ou « Mesure des indicateurs associés à la COVID-19 ») dans les eaux usées comme indicateur précoce aidant à déterminer la propagation de la COVID-19 dans la communauté.

Alors que nous continuons de vivre la pandémie de COVID-19, il est utile de pouvoir consulter un tableau quotidien de la propagation de la maladie dans la communauté pour déterminer la meilleure intervention collective à entreprendre.

Pour prendre connaissance de l'ampleur de la propagation du virus, on peut bien sûr suivre le nombre d'Ottaviens qui reçoivent un diagnostic positif de la COVID-19 chaque jour; toutefois, ce ne sont pas toutes les personnes atteintes de la COVID-19 qui se soumettent à un test de dépistage. De plus, le processus de dépistage de la COVID-19 et l'obtention des résultats prennent du temps. Ces limites signifient que le nombre quotidien de tests dont le résultat est positif ne donne qu'un aperçu partiel de la propagation de la COVID-19 dans la communauté. Ainsi, il serait bien utile d'avoir d'autres moyens d'évaluer la présence de la COVID-19 à Ottawa.

Des études ont montré qu'une proportion importante de personnes atteintes de la COVID-19 se débarrassent du coronavirus (aussi appelé « SRAS-CoV-2 ») dans leurs selles, parfois même avant l'apparition de symptômes. Chaque fois qu'une personne infectée de la COVID-19 utilise les toilettes, elle envoie le virus dans le système d'eaux usées. À Ottawa, nous avons la chance d'avoir le Centre environnemental Robert-O.-Pickard (CEROP), qui recueille et examine des échantillons d'eaux usées provenant de 91,6 % de la population d'Ottawa. Cela permet de mesurer de façon centralisée le niveau de matériel génétique du coronavirus (connu sous le nom d'« acide ribonucléique » [ARN]), ce qui peut aider à déterminer si le nombre de personnes infectées à Ottawa augmente, diminue ou reste le même. Ainsi, nous menons en quelque sorte une enquête très vaste sur la COVID-19, à laquelle tout le monde participe, y compris les personnes qui ne se sont pas soumises à un test de dépistage et celles qui ne savent peut-être même pas qu'elles sont infectées.

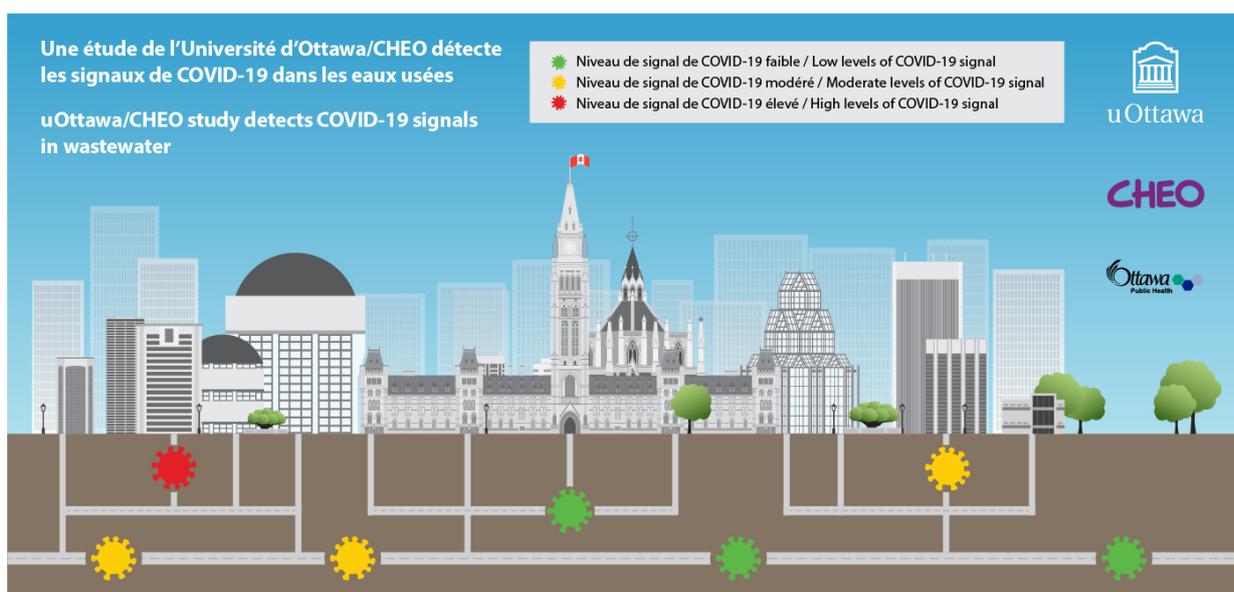
## En termes simples, comment cela fonctionne-t-il?

Au cours des derniers mois, des chercheurs de l'Université d'Ottawa et de l'Institut de recherche du CHEO, en collaboration avec le personnel du CEROP, ont mis à l'essai et perfectionné leur approche. À l'heure actuelle, cinq jours par semaine, des échantillons d'eaux usées sont recueillis, puis transportés dans un laboratoire, où l'on mène immédiatement des tests pour déterminer le niveau d'ARN; les résultats sont communiqués le lendemain matin.

Grâce à cette recherche novatrice menée par le CHEO et l'Université d'Ottawa, nous sommes l'une des premières communautés d'Amérique du Nord à entreprendre de telles lectures quotidiennes des eaux usées. Il est également important de noter qu'en raison de nombreux facteurs, il existe une certaine variabilité dans les données obtenues; les chercheurs et les ingénieurs travaillent à l'amélioration de la méthodologie employée. Parmi les facteurs qui expliquent cette variabilité, il y a ceux-ci : la présence du virus dans les selles est d'une ampleur relativement faible; le nombre réel de personnes atteintes de la COVID-19 peut être plutôt faible par rapport à la population totale; les eaux usées représentent un milieu rude pouvant nuire à la capacité de détecter l'ARN virale, ce qui se traduit par des données faibles. Néanmoins, on a observé dans les recherches en cours une forte corrélation avec d'autres mesures établies pour évaluer la COVID-19.

Ainsi, les observations donnent à penser que nous pouvons en apprendre sur la propagation de la COVID-19 dans notre communauté en analysant nos eaux usées, peut-être même des jours avant de pouvoir prendre connaissance des résultats découlant d'autres méthodes comme la prise d'écouvillons du nez et de gorge, de même que les signalements de symptômes observables. Alors que cette recherche se poursuit, la mesure de la COVID-19 dans les eaux usées pourrait aider Santé publique Ottawa et d'autres organismes de santé à évaluer l'ampleur de la présence de la maladie dans notre communauté; cela pourrait même servir de système de détection précoce alors que nous nous employons à trouver de meilleurs indicateurs (précoces) pour lutter contre la COVID-19.

Cette recherche est menée conjointement par Robert Delatolla, professeur agrégé à la Faculté de génie de l'Université d'Ottawa, et par le Dr Alex MacKenzie, scientifique principal à l'Institut de recherche du CHEO.



# **Surveillance virologique du SARS-COV-2 dans les eaux usées en France Protocole pour sa mise en oeuvre dans une perspective de santé publique Volet épidémiologique (*extrait*)**

Décembre 2021

(...)

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1 Définitions et concept**

La surveillance virologique du SARS-CoV-2 dans les eaux usées via la recherche de son ARN a démarré dès le début de la pandémie et de nombreux travaux de recherche ont été conduits dans le monde, en Europe et en France [1-4].

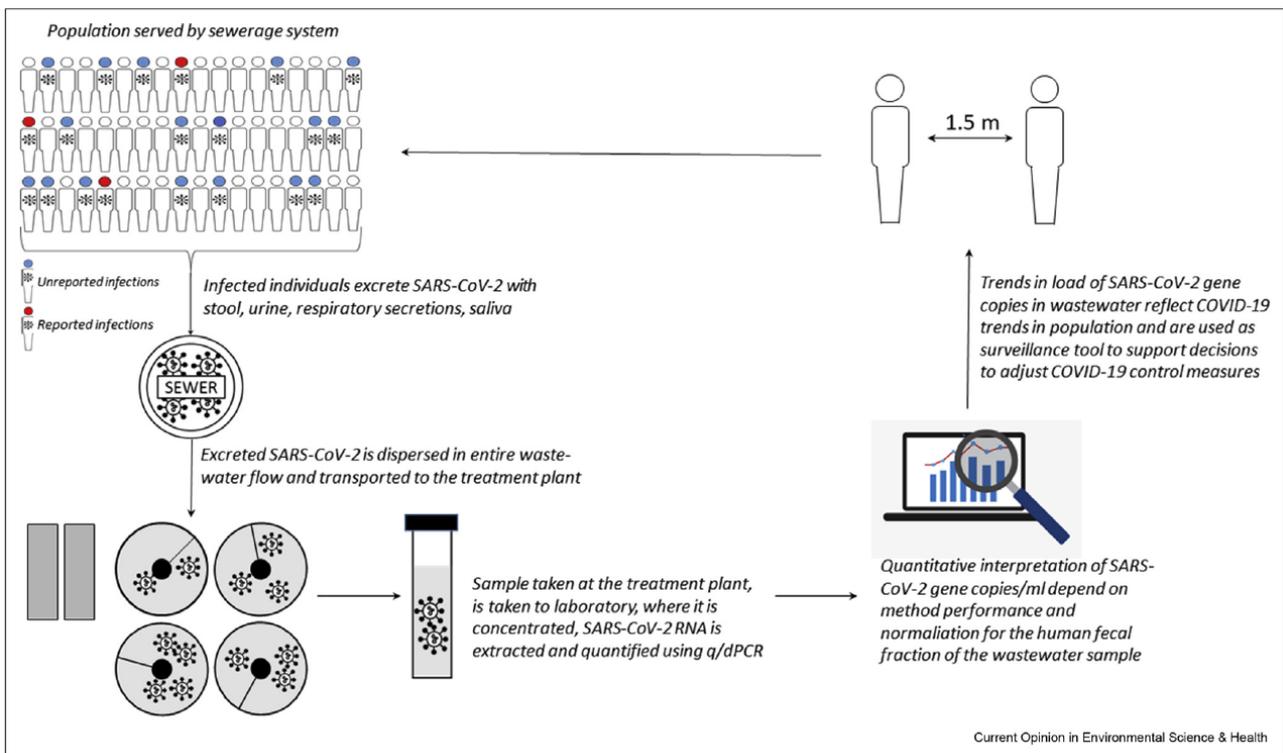
Les eaux usées sont des « eaux polluées » à la suite d'usages domestiques et/ou industriels. Les types d'eaux usées peuvent communément être regroupés en eaux usées domestiques comprenant les eaux ménagères (résultant de leur utilisation pour des usages liés à l'hygiène corporelle, du lavage du linge, de la vaisselle, des sols) et les eaux vannes (eaux alimentant les chasses d'eau et par suite contaminées par matières fécales et urines) ; et en eaux usées non domestiques (eaux de ruissellement d'origine pluviale, industrielles...). Les eaux usées constituent ainsi une matrice complexe qui intègre un ensemble de contaminants physique, chimiques et biologiques, d'origine humaine, environnementale et/ou industrielle en lien avec les activités et les usages d'un ensemble de personnes et/ou d'établissements. Dans le cas de l'assainissement collectif, elles sont acheminées via des égouts (unitaires ou séparatifs selon l'acheminement conjoint ou non des eaux pluviales) vers une station de traitement des eaux usées où elles sont traitées avant d'être rejetées dans l'environnement.

La surveillance des eaux usées est le processus de suivi de la qualité des eaux usées à la recherche de contaminants. Elle nécessite tout d'abord de définir une stratégie d'échantillonnage (choix des points d'intérêt et plan d'échantillonnage) en fonction des objectifs visés. Dans un deuxième temps, l'analyse et l'interprétation des données collectées (présence ou concentration d'agents pathogènes, présence de polluants chimiques, mesures physico-chimiques) sont à considérer.

Appliquée au domaine des maladies infectieuses, cette surveillance peut présenter un intérêt en santé publique en aidant à détecter et mieux comprendre la diffusion d'une maladie au sein d'une population. Elle a notamment montré son utilité dans le contrôle de la diffusion du virus de la polio [5, 6]. Plus récemment, l'émergence du SARS-CoV-2 a suscité de nombreuses interrogations et travaux de recherche dans le monde afin de savoir quelles opportunités la surveillance environnementale du SARS-CoV-2 pouvaient offrir. Les caractéristiques du SARS-CoV-2 permettent d'envisager une surveillance basée sur les eaux usées car la majorité des personnes infectées ne développent aucun ou de légers symptômes de la maladie mais excrètent un grand nombre de virus. Cette excrétion s'effectue principalement dans les fluides respiratoires mais aussi dans les selles (chez 43% des cas d'après une méta analyse récente [7]) et, moins fréquemment, dans les urines. L'ARN du SARS-CoV-2 reste détectable dans les eaux usées pendant des jours, voire des semaines après le début de l'infection chez un cas, selon les conditions [3].

## FIGURE 1

### Schéma conceptuel de la surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées (source : [3])



## 1.2 Situation internationale

Depuis le début de la pandémie, les instances internationales ont mobilisé un panel d'experts issus des domaines de l'hydrologie urbaine, du traitement des eaux usées, des laboratoires d'analyses et de la santé publique afin de rédiger des recommandations quant à l'intérêt de mesurer la présence de ce virus dans les eaux usées [8], de préciser le positionnement de la surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées dans une perspective de santé publique [9] et d'échanger sur les initiatives et problématiques rencontrées par les pays [1, 10]. Un portail collaboratif international a été mis en place sur cette thématique afin de favoriser la diffusion des travaux scientifiques et les échanges entre les équipes (COVID-19 WBE Collaborative - <https://www.covid19wbec.org/>). Enfin, à ce jour, le risque de contamination par le SARS-CoV-2 à partir des eaux usées est considéré comme négligeable pour les travailleurs exposés aux eaux usées ainsi que pour la population générale à partir des rejets des stations de traitement des eaux usées dans l'environnement [4, 11].

Plusieurs pays ont déployé des stratégies de surveillance des eaux usées en lien avec le SARS-CoV-2 à l'échelle nationale [12-15]. Ces exemples mettent en évidence des approches similaires au niveau des stratégies d'échantillonnage. Ces derniers sont généralement faits en entrée de station de traitement des eaux usées, de façon intégrée sur 24h, une à deux fois par semaine. Certains pays comme les Pays-Bas asservissent le volume prélevé au débit de la station de traitement. Cette approche permet de compenser au moment du prélèvement, les effets de dilution éventuelle liés à des variations de débit en raison par exemple d'événements pluvieux. D'autres choisissent de prendre en compte la pluviométrie au moment de l'interprétation des résultats. Les indicateurs présentés peuvent également varier. Par exemple, les Australiens présentent les résultats sous forme de présence/absence du virus dans les échantillons alors que le Luxembourg et les Pays-Bas rapportent un nombre de copies ou de particules virales pour 100 000 habitants. Ce dernier choix nécessite de disposer d'informations précises sur la structuration du réseau, le nombre d'équivalents

personnes raccordées (y compris lors de périodes avec de forts mouvements de population comme les congés) ainsi que des données sur la collecte d'eau issue de rejets industriels. Il présente l'avantage de pouvoir comparer quantitativement les niveaux et les tendances pour une station donnée et entre stations. Il est également possible de calculer un indicateur à l'échelle régionale ou nationale.

En termes de rendu des résultats, tous les pays éditent des rapports réguliers et les Pays-Bas intègrent des indicateurs régionaux et nationaux dans le tableau de bord du RIVM (Institut national de la santé publique et de l'environnement néerlandais, RIVM [16]). Les Australiens utilisent la surveillance dans les eaux usées principalement comme un outil de communication vis-à-vis de la population [17]. Ainsi, cet outil permet d'appuyer des messages de prévention (respect des mesures barrières, distanciation physique, etc.) lorsqu'un échantillon est positif dans une zone où la présence de cas est déjà connue, et d'inciter la population à se faire tester lorsqu'un échantillon est positif dans une zone où la présence de cas dans la population n'est pas connue. Dans les autres pays, la surveillance dans les eaux usées est utilisée pour suivre l'évolution temporo-spatiale du SARS-CoV-2, comparer la diffusion entre les régions (nombre de particules/100 000 habitants) et détecter des reprises précoces dans certains endroits. Selon un consortium européen [18], les coûts estimés pour cette surveillance s'élèveraient à 25 000 euros annuel par site de surveillance avec une fréquence de deux prélèvements par semaine [4].

Les CDC (Centres pour le contrôle et la prévention des maladies) ont publié sur leur site des recommandations à prendre en compte pour faciliter la mise en œuvre de la surveillance virologique du SARS-CoV-2 dans les eaux aux États-Unis et contribuer au système national de surveillance des eaux usées [14]. Récemment, les Pays-Bas ont également fait un bilan sur les opportunités et les enjeux de cette surveillance en proposant des recommandations pour sa mise en œuvre [3]. Enfin, la commission européenne a publié le 17 mars 2021 des recommandations concernant une approche commune pour la mise en place d'une surveillance systématique de la présence du SARS-CoV-2 et de ses variants dans les eaux usées de l'Union européenne [19].

### 1.3 Situation en France

Le cas de la France se caractérise par l'existence d'un ensemble d'acteurs publics (principalement issus de la recherche), et privés (industriels du traitement de l'eau et laboratoires d'analyses) qui réalisent un suivi du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées de nombreux sites sur l'ensemble du territoire depuis mars 2020. Une partie de ces acteurs sont des partenaires du réseau « Obépine » [20], réseau national né en avril 2020 à partir d'un consortium de recherche<sup>1</sup> sous l'impulsion du CARE (Comité Analyse, Recherche et Expertise), du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. Les principaux objectifs visés sont de mettre en place des protocoles d'analyse fiables et reproductibles, d'établir un réseau de surveillance sur le territoire, d'évaluer le caractère prédictif de la charge virale dans les eaux usées vis-à-vis de la circulation du virus en population générale et de l'évaluation des mesures de contrôle, d'évaluer la sensibilité du système de détection et d'établir une modélisation mathématique entre la charge virale dans les eaux usées et le nombre de personnes infectées sur le territoire correspondant. Ce réseau s'appuie à ce jour sur 4 méthodes d'analyse qui ont été évaluées par des essais inter-laboratoires et sur 7 laboratoires reconnus pour ces méthodes. Parallèlement, de nombreux autres acteurs (bataillon des marins-pompiers de Marseille, Société des eaux de Marseille, SDIS (Service départemental d'incendie et de secours) des Bouches du Rhône, en association des laboratoires départementaux ou des laboratoires privés, Veolia, Suez, etc.) ont également développé des réseaux de surveillance ou des offres commerciales [21, 22] à destination de différents gestionnaires (collectivités, établissements sociaux et médico-sociaux, entreprises, etc.). Les méthodes de détection utilisées diffèrent. Actuellement, seuls des rapports du réseau Obépine sont rendus publics depuis le mois de janvier 2021 en open data sous forme de graphiques et de cartographies [20], ainsi que de tables

<sup>1</sup> Eau de Paris, Sorbonne Université, Inserm (Paris), Université de Clermont-Auvergne, Université de Lorraine, Institut de recherche biomédicale des armées, Service de santé des armées, Ifremer – LSEM (Laboratoire santé, environnement et microbiologie), CNRS – EPHE (École Pratique des Hautes Études, Paris).

de données ([www.data.gouv.fr](http://www.data.gouv.fr)). En complément, depuis l'émergence de variants, le réseau Obépine et d'autres acteurs (CNRS Nice, IHU Marseille) ont aussi débuté des travaux visant à identifier et à séquencer les différents variants du SARS-CoV-2 dans les eaux usées.

## 1.4 Intérêt et limites de la surveillance

La surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées *via* la recherche de son ARN peut répondre à des objectifs relevant du domaine de la recherche, ainsi qu'à des objectifs relevant du domaine de la santé publique pour en faire un outil opérationnel d'aide à la gestion.

Les intérêts de la surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées en santé publique sont :

- De couvrir la quasi-totalité de la population en zone urbanisée ;
- De pouvoir obtenir à moindre coût un test intégré représentatif d'une population sans avoir besoin de mobiliser son implication ;
- De contribuer à la surveillance de la circulation du virus au sein de la population à une échelle locale et nationale en particulier lorsque le dépistage individuel est insuffisamment ou pas mis en œuvre et/ou que le SARS-CoV-2 est en voie d'élimination ;
- De prendre en compte l'ensemble des personnes infectées (symptomatiques et asymptomatiques) ;
- De ne pas être influencée par les stratégies de dépistage en population ;
- De pouvoir détecter précocement une reprise de la circulation virale et une possible montée en charge du recours aux soins dans les jours suivants, en particulier lorsque le dépistage en population est moindre. À ce jour, l'objectif d'alerte précoce à partir d'un signal dans les eaux usées a été démontré de façon rétrospective dans plusieurs études (présence de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées plusieurs jours voire semaines avant l'identification de cas dans la population) [2, 4, 13] mais rarement en temps réel. Néanmoins, cet objectif peut être visé et utile dans des zones non atteintes dès lors que des séquences de virus ou d'un variant ont été caractérisées chez quelques cas humains (en France ou dans d'autres pays) et que les résultats peuvent être rendus dans des délais courts après le prélèvement.

Les principales limites identifiées sont les suivantes :

- La surveillance des eaux usées ne permet pas à ce jour d'estimer un nombre de cas humains infectés à partir des mesures dans les eaux usées. Ce type d'estimation relève actuellement du domaine de la recherche et nécessite de mieux connaître les paramètres liés à l'excrétion humaine (proportion de personnes infectées qui excrète du virus dans les selles, période d'excrétion, quantité de virus excrétés, dynamique d'excrétion en fonction du temps). Elle demande également la connaissance des paramètres liés au site de surveillance (population couverte y compris lors des mouvements liés aux congés ou au travail, maîtrise des effets de dilution, connaissance du réseau d'assainissement) et/ou la normalisation des résultats analytique par un témoin de l'activité humaine (bactériophage, virus de la marbrure légère du piment - PMMoV) [4] ;
- Le nombre minimal d'infections nécessaires rapportée à la population pour détecter le virus dans les eaux usées est difficile à déterminer car il dépend à la fois de la limite de détection de la méthode, de la dilution des eaux usées (pluies...) et de la quantité de virus émise dans les selles, pour lesquelles il existe peu de données ;

- La taille du secteur dont les eaux usées sont collectées et acheminées vers une station de traitement des eaux usées sous surveillance ne permet pas de cibler une zone ou une structure précise (pas de localisation possible de clusters) ;
- La coexistence de nombreuses méthodes d'analyses et l'absence de standardisation rend difficile la comparaison des résultats entre sites distincts suivis par des laboratoires différents ;
- La détection du génome d'un variant du SARS-CoV-2 dans un échantillon d'eaux usées dépend entre autres de la sensibilité des tests, de la préservation des échantillons et de la concentration du variant. L'absence de détection d'un variant ne signifie pas l'absence de ce variant dans les eaux usées ou dans la population (risque de faux négatifs en termes d'alerte) ;
- La présence du génome d'un variant du SARS-CoV-2 dans les eaux usées ne préjuge pas *a priori* de son potentiel épidémique, d'une modification de la contagiosité ou de la sévérité, d'une modification de la sensibilité aux vaccins, en l'absence de données complémentaires épidémiologiques, recueillies en France ou ailleurs (risque de faux positifs en termes d'alerte).

## 2. OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE DU GÉNOME DU SARS-COV-2 DANS LES EAUX USÉES DANS UNE FINALITÉ DE SANTÉ PUBLIQUE

Sur la base des connaissances scientifiques actuelles, les données de surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées peuvent être utilisées pour répondre à deux objectifs principaux utiles en santé publique pour guider les mesures de gestion :

### 2.1 Détecter précocement la présence du génome du SARS-CoV-2 et des variants émergents en population générale

Cet objectif qualitatif (détection/non détection) répond à un système d'alerte précoce et permet de déclencher des mesures de gestion adaptées. Il est particulièrement utile à une période ou une zone géographique où le niveau de circulation du virus/variant est très bas dans la population. Il nécessite d'une part de disposer au préalable des méthodes de détection validées, d'autre part d'avoir un délai court entre le prélèvement et le rendu des résultats.

Un objectif secondaire peut également présenter un intérêt suivant le contexte : détecter la présence de cas d'infection sur un site ciblé supposé « zéro Covid-19 » ou pour lequel peu de dépistages sont réalisés (par exemple, une structure collective type établissements sociaux et médico-sociaux, école, caserne, campus, prison ou un quartier). Cette approche permet d'adapter les mesures de gestion et de dépistage à un niveau local. Elle est plus adaptée aux sites incluant l'hébergement de la communauté à surveiller.

Afin de pouvoir répondre à l'objectif d'alerte précoce, la commission européenne recommande de pouvoir enregistrer le résultat au plus tard 48 heures après le prélèvement [23].

**Concernant la détection de variants**, et quel que soit le niveau de circulation des souches déjà connues, leur recherche dans les eaux usées sur l'ensemble du territoire dans un délai court peut apporter une information utile pour décrire rapidement la diffusion temporo-spatiale de ces nouveaux variants avant le déploiement massif de capacités de séquençage en population générale. La recherche dans les eaux usées de nouveaux variants pour la surveillance en appui à la gestion nécessite au préalable que la souche/séquence ait été identifiée par le Centre national de référence (CNR) des virus respiratoires dans des prélèvements humains ou par d'autres laboratoires d'analyses en France ou à l'étranger et rapportée dans GISAID<sup>2</sup>. Les laboratoires effectuant les recherches dans les eaux usées devront dès lors disposer de méthodes qualifiées et validées pour la recherche des variants d'intérêt. Les résultats de programmes de recherche réalisant des séquençages des souches retrouvées dans les eaux usées peuvent également apporter une information utile pour les variants. Par ailleurs, compte tenu de l'évolution rapide de la surveillance génomique, la détection de nouveaux variants émergents correspondant à la définition des variants en cours d'évaluation après avis du CNR et du projet EMERGEN<sup>3</sup> est à considérer. Il pourrait également être envisagé de faire un lien entre la surveillance génomique dans les eaux usées et le projet EMERGEN.

<sup>2</sup> Les mutations ou les variants du virus sont surveillés depuis le début de la pandémie de COVID-19 grâce à la base de données de la *Global Initiative on Sharing Avian Influenza Data* (GISAID) sur le séquençage (<https://www.gisaid.org/>)

<sup>3</sup> Le projet Emergen a été mis en place en janvier 2021 afin d'augmenter les capacités de séquençage en France. Il s'agit d'un projet de surveillance génomique du SARS-CoV-2 à des fins de surveillance et de recherche, coordonné par l'agence et l'ANRS | Maladies Infectieuses émergentes (MIE) et santé publique France.

## 2.2 Suivre les tendances de la circulation virale au sein d'une population

Cet objectif s'inscrit dans une logique de surveillance en routine et permet d'adapter les mesures de gestion en place et de contrôler leur efficacité. Il est particulièrement utile pour identifier une accélération, l'atteinte d'un plateau ou une diminution de la circulation virale dans la population ou sur certaines zones géographiques. Compte tenu des connaissances actuelles sur la durée d'excrétion du virus dans les selles, cet objectif est peu adapté pour dater un arrêt de la circulation virale dans une population donnée (notion de fin de vague épidémique). Le suivi des tendances peut se faire à une échelle locale et plus globalement à une plus grande échelle, sous réserve que les laboratoires qui interviennent utilisent les mêmes méthodes.

À ce jour, en l'absence de lien suffisamment établi entre le niveau de concentration dans les eaux usées et le nombre de cas d'infection dans la population, la surveillance dans les eaux usées ne permet pas de produire un indicateur quantitatif du nombre de cas dans la population.

### 3. CAHIER DES CHARGES POUR LA MISE EN ŒUVRE DE LA SURVEILLANCE

La surveillance des eaux usées peut ainsi venir compléter les autres systèmes de surveillance du Covid-19 pour informer le décideur. La stratégie d'échantillonnage dans les eaux usées doit être adaptée aux objectifs de santé publique qui peuvent varier selon les phases de l'épidémie (cf. ci-dessus).

Une interprétation appropriée en santé publique des données de surveillance du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées dépend de la bonne compréhension et connaissance de l'hydrologie urbaine associée aux sites de prélèvements, de la représentativité des échantillons prélevés, du respect des bonnes pratiques en lien avec le conditionnement des échantillons, leur conservation (du prélèvement à l'arrivée au laboratoire) et l'ensemble des étapes de la chaîne analytique jusqu'à l'interprétation finale des résultats. Des recommandations de la Commission européenne proposent des paramètres pour normaliser les données [23].

#### 3.1 Choix des sites d'intérêt et plan d'échantillonnage pour la surveillance

**Le choix des sites d'intérêt** pour la surveillance du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées doit se faire en fonction des objectifs de santé publique ciblés à l'échelle nationale et locale, ainsi que des ressources disponibles (moyens humains et logistiques). Ainsi, les zones urbaines représentent une option intéressante pour suivre les tendances et détecter des réémergences car elles concentrent la majorité de la population en France. De la même façon, des sites touristiques susceptibles d'accueillir un nombre important de personnes sur des périodes courtes peuvent présenter un intérêt pour la détection précoce de cas. Enfin, de façon plus ciblée, des établissements accueillant des personnes fragiles (centres hospitaliers, Ehpad), des écoles, des campus/cités universitaires, des prisons ou des zones dans lesquelles les capacités de tests en population générale sont limitées, pourraient également présenter un intérêt pour la surveillance. Pour ces établissements, ceux correspondant au lieu de résidence des personnes (ex : cité universitaires, prisons, Ehpad) sont à privilégier car l'usage des toilettes pour l'excrétion des selles y est plus systématique que dans les autres types d'établissements (école, lieu de travail par exemple). Le choix des sites d'intérêt peut évoluer en fonction de la circulation virale et des capacités de tests en population générale.

Pour répondre aux objectifs principaux de surveillance en population générale (détection et suivi des tendances), un maillage territorial permettant d'avoir une représentation à l'échelle départementale pourrait être préconisé. Les chefs-lieux des départements et/ou les grandes métropoles regroupant une part importante de la population du département pourraient constituer des sites sentinelles d'intérêt. Ce niveau géographique est également cohérent avec les données de surveillance en population humaine qu'il faudra confronter aux données dans les eaux usées. Il est également cohérent avec la recommandation UE 2021/472 du 17 mars 2021 visant la mise en place d'une surveillance qui s'applique *a minima* aux eaux usées des grandes agglomérations de plus de 150 000 habitants [23].

Pour répondre aux objectifs secondaires, des sites supplémentaires d'échantillonnage pourront être sélectionnés. Le choix des sites dépend de la population cible qu'il est jugé utile de mettre sous surveillance, qu'elle soit résidente (détection dans un établissement ou un quartier donné) ou transitoire (sites touristiques).

Pour chaque site sélectionné, une bonne connaissance des paramètres suivants est nécessaire pour l'interprétation des résultats : le temps de séjour hydraulique moyen des eaux usées avant d'atteindre le point où le dispositif de prélèvement a été installé, la zone et la taille de la population

raccordée, avec les changements importants ponctuels de population raccordée (déplacements de population lors des périodes de congés, déplacements liés au travail, travaux sur la station de traitement des eaux usées), apports d'eaux industrielles ou pluviales. Il sera dès lors possible de rapporter la mesure d'ARN viral obtenue à un nombre d'équivalent habitant et à une période d'excrétion possible, sous réserve de mieux connaître l'excrétion humaine dans les selles (niveau et durée).

Enfin, pour chaque site, des points de prélèvement représentatifs du débit d'eau usée doivent être accessibles. Pour les sites liés aux stations de traitement des eaux usées, les points ne doivent pas être influencés par des étapes de prétraitement éventuel, donc si possibles installés sur les eaux brutes en entrée de station. Pour les sites liés à la surveillance de sous-populations ciblées, une analyse technique précise des réseaux d'eaux usées doit être menée au préalable. Les points devront en particulier permettre l'installation sécurisée du dispositif de prélèvement et une évaluation de la représentativité des prélèvements devra être effectuée pour permettre d'estimer les incertitudes (dont la probabilité de faux positifs). La disponibilité de métadonnées utiles à l'interprétation des résultats est également un critère de choix des sites : débit d'entrée, paramètres physico-chimiques, indicateur de masse fécale indépendant du SARS-CoV-2.

Le plan d'échantillonnage pour la surveillance du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées doit être guidé par les besoins de santé publique. Elle peut devoir être mise à jour au fil du temps en fonction de l'évolution des connaissances scientifiques et des objectifs de santé publique (tableau 1). La stratégie d'échantillonnage doit également tenir compte de la capacité d'analyse des laboratoires compétents.

### 3.2 Type d'échantillon à collecter

Pour répondre aux objectifs principaux de surveillance, les eaux usées non traitées peuvent être prélevées en entrée de station de traitement des eaux usées. Pour répondre à l'objectif secondaire, les eaux usées peuvent être prélevées en amont dans le réseau de collecte des eaux usées ou en sortie d'établissement.

Afin de prendre en compte la variabilité journalière des apports de matière fécale dans les eaux usées, les échantillons composites sont considérés comme plus représentatifs des contributions fécales de la communauté que les échantillons ponctuels et doivent être privilégiés. Ces échantillons sont collectés sur une période de temps définie - généralement 24 heures.

Afin de tenir compte des phénomènes de dilution par temps de pluie principalement, il est préconisé que les échantillons en entrée de station soient asservis dans la mesure du possible au débit ou par défaut effectués uniquement par temps sec.

Pour les échantillons en amont dans le réseau ou en sortie d'établissement, un échantillon ponctuel peut être réalisé si les contraintes de terrain le justifient. Dans ce cas, seul l'objectif de détection peut être visé. À l'échelle de petites communautés les variations des concentrations en fonction de l'heure peuvent également influencer fortement les résultats de prélèvements ponctuels. Dans ce cas, les incertitudes identifiées devront être clairement communiquées.

## J TABLEAU 1 I

### Stratégie d'échantillonnage et indicateurs d'intérêt en fonction des objectifs de surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées

Objectifs de surveillance	Sites de prélèvement	Fréquence d'échantillonnage	Type de prélèvement	Indicateurs d'intérêt
Détecter précocement la présence du SARS-CoV-2 et des variants émergents en population générale	STEU Zones urbaines* STEU Sites touristiques	2 fois par semaine Jours de prélèvements peuvent être adaptés suivant le contexte**	Eaux usées non traitées en entrée de STEU Échantillon composite 24h ou ponctuel**** selon un protocole standardisé et reproductible	Présence/Absence Variants identifiés Sensibilité de la méthode Taille de la population raccordée
Détecter ou surveiller la présence de cas d'infection sur un site ciblé supposé « zéro Covid-19 » ou pour lequel peu de dépistages sont réalisés	Sortie eaux usées centres hospitaliers, Ehpad, campus, prisons, égouts de quartiers. Une analyse technique précise des réseaux d'eaux usées doit être menée au préalable	1 à 2 fois par semaine Jours de prélèvements et plages horaires peuvent être adaptés suivant le contexte**	Eaux usées non traitées dans le réseau de collecte Échantillon composite 24h ou ponctuel**** selon un protocole standardisé et reproductible	Présence/Absence Valeur du seuil de quantification Taille de la population couverte Échantillon composite/ponctuel
Suivre les tendances de la circulation virale au sein d'une population	STEU Zones urbaines*	1 à 2 fois par semaine selon un protocole harmonisé entre les sites et reproductible d'une semaine sur l'autre****	Eaux usées non traitées en entrée de STEU Échantillon composite 24h selon un protocole standardisé et reproductible	Nombre de copies/Litre Nombre de copies/100 000 habitants par jour

STEU : station de traitement des eaux usées ;

\* une STEU par département et/ou par grande métropole ;

\*\* par temps sec uniquement si l'échantillon ne peut pas être asservi au débit ;

\*\*\* la fréquence d'échantillonnage peut être adaptée en fonction de la situation épidémiologique et les jours de prélèvement en fonction du contexte météorologique

\*\*\*\* ce type de prélèvement est à utiliser en dernière intention et les incertitudes liées aux variations des concentrations en fonction de l'heure de prélèvement doivent être identifiées

### 3.3 Traitement des échantillons

Plusieurs méthodes de test sont utilisées pour détecter ou quantifier l'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les eaux usées en France sans qu'il y ait de réelle harmonisation entre les méthodes (cf avis de l'Anses du 19 février 2021 sur l'épandage de boues issues du traitement des eaux usées urbaines<sup>4</sup>). Pour les besoins de la surveillance, en particulier pour le suivi des tendances, les résultats obtenus par différents laboratoires et sur différents sites doivent pouvoir être comparés entre eux. Ceci implique de devoir évaluer et limiter au maximum la variabilité inter et intra laboratoire. Cet aspect sera plus particulièrement mis en œuvre par l'Anses, à la suite de la désignation de son laboratoire d'hydrologie de Nancy (LHN), comme laboratoire national de référence (LNR) pour la surveillance du SARS-CoV-2 dans les eaux usées et les boues de stations d'épuration.

Il apparaît nécessaire à ce niveau de pouvoir compléter ce cahier des charges par un volet analytique qui définirait les critères/étapes à réaliser pour obtenir des résultats standardisés, validés, reproductibles ainsi que leur niveau d'incertitude (cf mandat LNR Anses).

Les principales étapes identifiées pour cette partie sont [14] : le prélèvement, le transport, la conservation, la préparation, la concentration, l'extraction ARN, la méthode de détection, les contrôles (récupération de la matrice, normalisation fécale humaine pour tenir compte des effets de dilution ou changement de la taille de la population excrétrice, tests d'inhibition et contrôle des négatifs).

### 3.4 Données à collecter et production d'indicateurs utiles pour la décision

Un ensemble de données est nécessaire pour pouvoir interpréter les mesures de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées. Ces données sont collectées à plusieurs étapes du processus de surveillance (tableau 2).

Les indicateurs de résultats de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées utiles pour la surveillance peuvent être qualitatifs (présence/absence d'ARN viral dans les eaux usées) et quantitatifs. Ils correspondent alors à la quantité d'ARN viral dans les eaux usées rapportée à un volume d'eaux usées (nombre de copies/Litre) ou à la population raccordée (nombre de copies/100 000 habitants) par jour. Pour chaque indicateur estimé, le niveau d'incertitude lié à la variabilité intrinsèque de la méthode d'analyse doit être connu et reproductible entre les sites et les prélèvements.

<sup>4</sup> <https://www.anses.fr/fr/system/files/MFSC2020SA0137Ra.pdf>

**I TABLEAU 2 I****Données à collecter pour la surveillance**

<b>Étape</b>	<b>Information à collecter</b>
Site de prélèvement	Taille de la population équivalente (population raccordée), plage de débit journalier entrant (min, max, moyenne, médiane), raccordement d'établissements type Ehpad ou établissements de soins, raccordement d'eaux industrielles (si présence de filières productrices de gros volumes)
À chaque prise d'échantillon	Date, plage horaire couverte par l'échantillonnage (si échantillon composite) ou heure de prélèvement (si échantillon ponctuel), lieu de prélèvement, caractéristique du point de prélèvement et du dispositif de prélèvement, volume d'eau prélevé, existence de précipitations au moment du prélèvement Débit eaux usées entrant durant le prélèvement
Pour chaque échantillon	Modalités concernant les méthodes de concentration des échantillons, les méthodes d'extraction et de quantification, l'efficacité de la récupération virale et les méthodes de contrôles d'inhibition moléculaire, de normalisation fécale humaine, date de réception et début d'analyse, date de validation des résultats. Caractéristiques globales des échantillons (DBO, DCO, MES, NH4, Ntk, etc.)

# 4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

## 4.1 Prise en compte de la temporalité

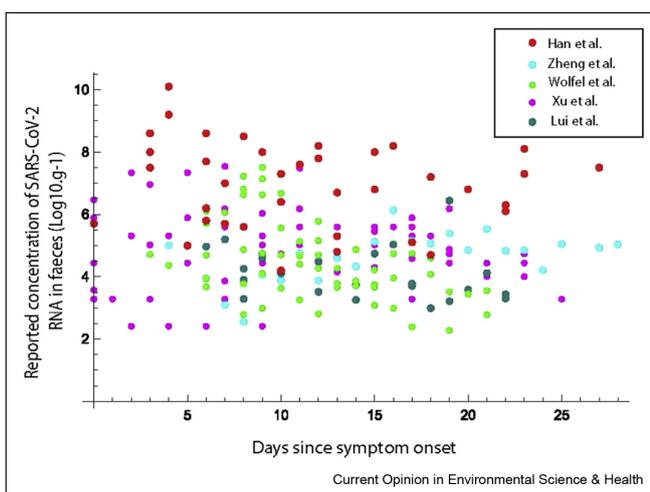
Afin de pouvoir interpréter les résultats des mesures de concentrations de l'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les eaux usées à un instant t, il faut tenir compte du délai entre la prise d'échantillon et le rendu des résultats, ainsi que du temps de séjour dans le système de collecte des eaux usées entre les logements raccordés et le point de prélèvement. À ces délais s'ajoute la durée d'excrétion du SARS-CoV-2 dans les selles qui peut durer plusieurs semaines comme cela a été montré dans une méta-analyse récente (figure 2) [3, 24, 25].

À titre de comparaison, la détection dans des prélèvements nasopharyngés grâce à la surveillance en population humaine est possible de quelques jours avant à une semaine après le début des symptômes (figure 3) [26]. Le délai d'analyse et de mise à disposition de l'information dans la base de surveillance virologique humaine (Sidep) est de l'ordre de 24 à 48 heures. Pour les cas symptomatiques qui vont se faire tester, le délai total est ainsi de l'ordre de 3 à 4 jours (le délai entre la survenue des signes et la réalisation d'un prélèvement de l'ordre de 2 jours, auquel on ajoute le délai d'analyse et de remontée dans Sidep). Pour les cas symptomatiques qui nécessitent un recours aux soins hospitaliers, les délais entre la date de début des signes et la date d'hospitalisation est de l'ordre d'1 à 2 semaines. Par conséquent, la précocité de la détection du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées est particulièrement utile lorsque le dépistage en population générale est faible ou que les données ne sont pas collectées (ex : autotests).

Ces délais sont importants à considérer pour comparer en temps réel les données de surveillance des eaux usées avec les données virologiques dans la population (cas incidents). Les objectifs de détection et de suivi des tendances en phase ascendante de circulation virale ne sont pas trop modifiés par ces décalages, en revanche, la tendance en phase descendante peut être retardée et plus lente dans les eaux usées du fait de l'excrétion virale prolongée.

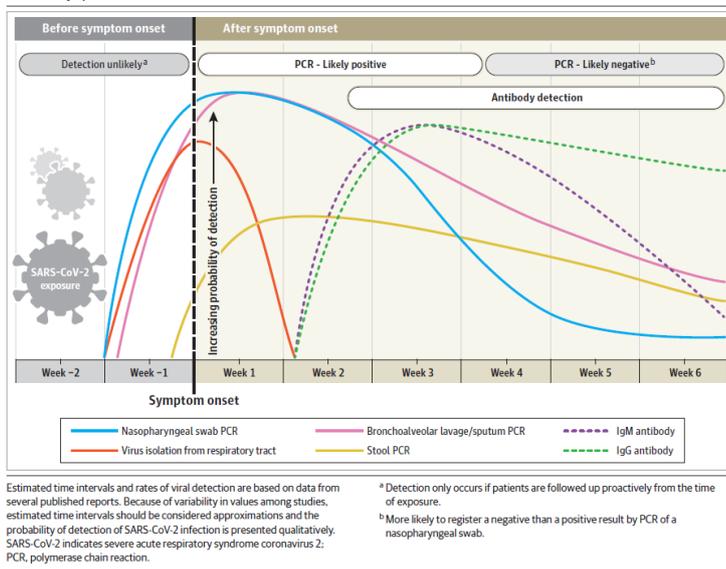
FIGURE 2 |

Synthèse des concentrations rapportées de SARS-CoV-2 dans les échantillons fécaux par jour depuis le début des symptômes (sachant que les données de Xu et al., 2020 sont rapportées en jours après l'hospitalisation) (source : [3])



## FIGURE 3 I

Estimation de la variation dans le temps des méthodes de diagnostic d'une infection à SARS-CoV-2 en fonction de la date de début des symptômes (source : [26])

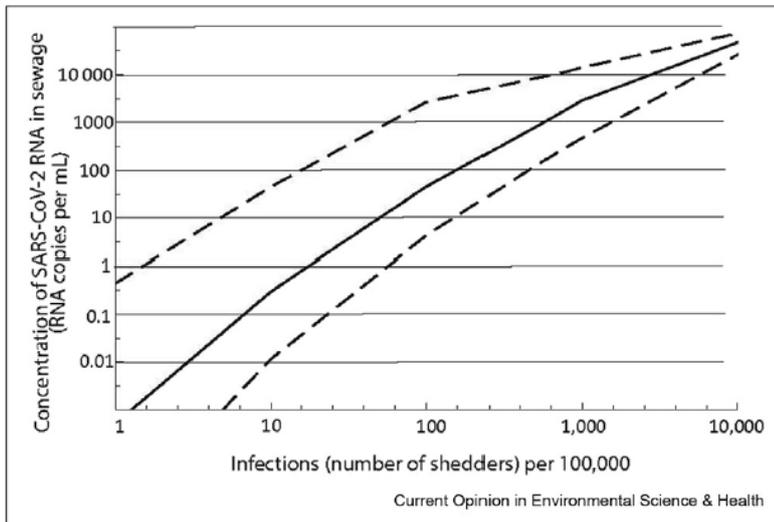


## 4.2 Estimation du nombre de cas d'infection dans la population

Bien que des études récentes proposent une relation entre la concentration en ARN du SARS-CoV-2 dans les eaux usées et le nombre d'infections dans la population (figure 2) [3], les connaissances scientifiques actuelles ne sont pas suffisantes pour pouvoir estimer un nombre de cas d'infection dans la population à partir de mesures du génome du SARS-CoV-2 dans les eaux usées. Cette estimation est limitée notamment par le manque de données sur l'excrétion virale dans les selles : proportion de cas qui excrète le SARS-CoV-2 dans les selles, durée d'excrétion, niveau d'excrétion en fonction de la durée, niveau d'excrétion en fonction de la présence ou non de symptômes, variabilité intra et inter individus. Une revue des études sur le COVID-19 par Parasa *et al.* [27] a indiqué que l'ARN du SARS-CoV-2 a été détecté dans des échantillons fécaux de 40,5% (intervalle de confiance à 95% [IC] 27,4% à 55,1%) des patients atteints de COVID-19. Une autre étude rapporte que l'ARN viral a été identifié chez 57% des personnes infectées (55 sur 96 patients) [25]. Enfin, une méta-analyse récente estime la prévalence de SARS-CoV-2 dans les selles des patients atteints du Covid-19 à 43% (95% intervalle de confiance [CI] 34%–52%) [7]. Cette même étude montre également que la prévalence dans les selles est plus importante chez les patients avec des symptômes gastro-intestinaux, en particulier la diarrhée et que l'excrétion du SARS-CoV-2 dans les selles dure environ 3 semaines (contre 2 semaines dans les prélèvements nasopharyngés). En complément des paramètres d'excrétion humains, des paramètres liés aux sites de prélèvements des eaux usées doivent être maîtrisés. Ainsi, une bonne connaissance des conditions hydrauliques, de la taille de la population couverte et des variations éventuelles sont nécessaires pour estimer un nombre de cas d'infection à partir des résultats de concentrations de SARS-CoV-2 dans les eaux usées.

## FIGURE 4 I

Modélisation de la relation entre le nombre de personnes infectées dans la population et la concentration d'ARN viral de SARS-CoV-2 dans les eaux usées (ligne pleine = médiane ; lignes pointillées = p5 et p95) (source : [3])



### 4.3 Détection de la présence d'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les eaux usées

La détection d'ARN viral de SARS-CoV-2 dans les eaux usées signe la présence d'au moins un cas infection (symptomatique ou asymptomatique) dans la population raccordée au réseau des eaux usées au cours des derniers jours (max 2 semaines). En phase de faible circulation virale, la répétition des mesures (par exemple 2 fois par semaine) permet de réduire le délai entre l'apparition d'un cas dans la communauté et la détection dans les eaux usées.

L'absence de détection d'ARN viral de SARS-COV-2 indique un niveau de circulation bas dans la population de la zone qui peut être considérée comme à faible risque de diffusion. Une étude a montré qu'un signal (présence d'ARN viral) dans les eaux usées avait été détecté alors que l'incidence dans la population était de l'ordre de 1 cas pour 100 000 habitants [13].

À l'échelle de petites communautés (quartiers ou sortie établissements), l'absence de détection de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées ne doit pas entraîner un relâchement dans la surveillance de cas humains évocateurs de SARS-CoV-2 (possibilité de faux négatifs), ni dans l'application des mesures barrières.

La détection de la présence d'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les eaux usées ou l'absence de détection doivent tenir compte de la possibilité de fausses alertes (faux négatifs ou faux positifs) (tableau 3).

L'interprétation de la détection des variants doit se faire au regard des données épidémiologiques qui permettent de caractériser la menace épidémique et la gravité des mutations. Tous les variants ne présentent pas nécessairement une alerte de santé publique.

## FIGURE 4 I

### Scénarios possibles pour la détection du génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées, ou de ses variants, et interprétation des résultats

		Dans la communauté	
		Présence de virus/variants	Absence de virus/variants
Dans les échantillons d'eaux usées	<b>Détection de virus/variants</b>	<p>Échantillons vrais positifs</p> <p>Cohérence dépistage / surveillance des eaux usées mais précocité de cette dernière =&gt; alerte possible</p> <p>Utilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- si dépistage peu accessible</li> <li>- recherche de variants connus ailleurs mais non identifiés (ou partiellement) sur le territoire</li> </ul>	<p>Échantillons faux positifs : possible en cas de contamination au laboratoire ou artefact méthode de d'analyse</p> <p>« Fausses alertes variants » possible :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- en cas d'identification erronée notamment de variants à suivre</li> <li>- en cas d'identification de variants à potentiel épidémique faible ou nul</li> </ul>
	<b>Pas de détection de virus/variants</b>	<p>Échantillons « faux négatifs » : sensibilité de la méthode, conditions de prélèvements ou de conservation, dilution</p>	<p>Échantillons vrais négatifs</p> <p>Peu envisageable si on considère la probabilité élevée d'endémicisation de SARS-CoV-2.</p> <p>Si endémicisation, peut-être utile si seuil de détection plutôt élevé, pour écarter le risque d'épidémie locale à moyenne échéance</p>

#### 4.4 Quantification d'ARN viral du SARS-CoV-2 dans les eaux usées

Des résultats quantitatifs permettent de renseigner sur les tendances et le niveau de circulation du virus dans la population raccordée.

Les tendances doivent être calculées à partir de concentrations (nb de copies/100 000 habitants ou nb de copies/L) par date de prélèvement, obtenues sur des échantillons composites (24 heures), qui tiennent compte de phénomènes de dilution éventuels liés à des pluies ou des variations dans les apports humains ou industriels. L'interprétation des tendances sera préférentiellement réalisée sur la base de plusieurs mesures afin de confirmer d'éventuels changements. Elle tiendra compte de l'incertitude de la mesure. Les résultats des prélèvements effectués les jours de pluie seront écartés si l'effet pluviométrie ne peut pas être corrigé.

Les calculs de tendance ainsi que la représentation de concentrations standardisées normalisées rapportées à un nombre d'équivalent habitant par jour permettent de comparer différents sites entre eux.

L'interprétation croisée avec les données de santé peut permettre de guider les mesures de gestion (cf. partie 5).

## 5. UTILISATION ET COMMUNICATION DES DONNÉES

Afin de pouvoir intégrer les mesures du SARS-CoV-2 dans les eaux usées dans la stratégie globale de surveillance épidémiologique du Covid-19, les partenaires de la surveillance doivent être en mesure de collecter et de diffuser rapidement les données nécessaires à l'interprétation en santé publique.

Le partage des données de surveillance est une source essentielle de progrès collectif en santé publique. Ce partage de données doit pouvoir se faire dans un premier temps avec les exploitants des stations de traitement des eaux usées, les laboratoires, les décideurs, les agences régionales de santé et Santé publique France chargée de la surveillance de l'état de santé de la population. Le format et la fréquence de mise à disposition des données doivent être définis avec les utilisateurs et compatibles avec des objectifs de surveillance.

Les données de surveillance du génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées ne doivent pas être interprétées de façon isolée. L'interprétation conjointe des données de santé est nécessaire pour apprécier le niveau de circulation virale dans la population et la tendance afin de guider les mesures de gestion. En fonction de l'avancée des connaissances dans la précision des méthodes d'analyse et dans la relation entre les données dans les eaux usées et les données de santé, la surveillance dans les eaux usées pourrait constituer à lui seul un dispositif d'alerte (si identification d'un variant d'intérêt ou dépassement d'un seuil quantitatif d'alerte).

Des propositions de mesures de gestion peuvent être dressées au regard de l'interprétation croisée des données de surveillance en population et dans les eaux usées : recommandations pour le dépistage, sensibilisation aux mesures barrières, recommandations pour limiter les contacts au sein de la population (notion de distanciation physique), etc. Plusieurs scénarios sont envisagés pour l'interprétation des données (tableau 4).

# J | TABLEAU 4 I

## Scénarios de surveillance dans les eaux usées et interprétation des résultats en fonction du niveau et de la vitesse de circulation du virus en population générale (objectifs principaux de la surveillance dans les eaux usées) (source : adapté de Medema [3]) - 1/3

Points de surveillance eaux usées	Niveau et vitesse de circulation en population	Résultats des indicateurs de surveillance		Interprétation	Propositions de gestion
		Population (Sidep ou Sivic) Variation indicateurs S-1 / S-2	Eaux usées Variation indicateurs S-1 / S-2		
STEU Zone urbaine					
Prélèvement hebdomadaire ou bi- hebdomadaire	Faible circulation, entre 2 vagues épidémiques  <i>Faible taux d'incidence*</i> ( $\leq 10/10^5 \text{ hab}$ ) / <i>Peu de cas admis à l'hôpital**</i> <i>Reff <math>\leq 1</math>***</i>	Stabilité des indicateurs d'incidence	Absence de SARS-CoV-2 ou niveau stable de la concentration	Cohérent : conforte la faible circulation	Pas de changement, poursuite de la surveillance
		Augmentation des indicateurs d'incidence****	Détection de SARS-CoV-2 ou augmentation de la concentration	Non convergeant : valider la variation, peut indiquer une reprise de la circulation	Renforcement communication préventive, renforcement du dépistage, renforcement TAP, +/- mise en alerte des structures de soins
			Détection de SARS-CoV-2 ou augmentation de la concentration	Cohérent : peut indiquer une reprise de la circulation	
Circulation virale modérée à élevée, phase ascendante d'une vague épidémique, atteinte d'un plateau, phase descendante  <i>Taux d'incidence modéré à élevé*</i> ( $>20/10^5 \text{ hab}$ ) <i>Nombre modéré à important de cas admis à l'hôpital**</i> <i>Reff &gt; 1</i> ***	Augmentation des indicateurs d'incidence****	Augmentation de la concentration	Cohérent : poursuite de l'accélération de la circulation virale – mesures de gestion insuffisantes ou non encore efficaces	Renforcement communication préventive, renforcement du dépistage, renforcement TAP, renforcement de l'application des mesures de distanciation physique et mesures barrières - Prévention des tensions hospitalières	
		Stabilisation de la concentration	Non convergeant : valider la variation, peut indiquer un ralentissement de la circulation – mesures de gestion efficaces	Pas de changement, poursuite des mesures mise en place	
		Diminution de la concentration			

# J TABLEAU 4 I

## Scénarios de surveillance dans les eaux usées et interprétation des résultats en fonction du niveau et de la vitesse de circulation du virus en population générale (objectifs principaux de la surveillance dans les eaux usées) (source : adapté de Medema [3]) - Suite 2/3

Points de surveillance eaux usées	Niveau et vitesse de circulation en population	Résultats des indicateurs de surveillance			Propositions de gestion
		Population (Sidep ou Sivic) Variation indicateurs S-1 / S-2	Eaux usées Variation indicateurs S-1 / S-2	Interprétation	
STEU Zone urbaine	Circulation virale modérée à élevée, phase ascendante d'une vague épidémique, atteinte d'un plateau, phase descendante	Augmentation de la concentration		Non convergent : valider la variation, peut indiquer un rebond de la circulation – mesures de gestion pas suffisamment efficaces	Renforcement communication préventive, renforcement du dépistage, renforcement TAP, renforcement de l'application des mesures de distanciation physique et mesures barrières - Prévention des tensions hospitalières
		Stabilisation des indicateurs d'incidence****		Cohérent : peut indiquer un ralentissement de la circulation – mesures de gestion efficaces	
		Diminution de la concentration		Non convergent : valider la variation peut indiquer un ralentissement de la circulation – mesures de gestion efficaces	Pas de changement, poursuite des mesures mise en place
Prélèvement hebdomadaire	Taux d'incidence modéré à élevé* (>20/10 <sup>5</sup> hab.)  Nombre modéré à important de cas admis à l'hôpital**  Reff = 1***				

## J | TABLEAU 4 I

### Scénarios de surveillance dans les eaux usées et interprétation des résultats en fonction du niveau et de la vitesse de circulation du virus en population générale (objectifs principaux de la surveillance dans les eaux usées) (source : adapté de Medema [3]) - Suite 3/3

Points de surveillance eaux usées	Résultats des indicateurs de surveillance				Propositions de gestion
	Niveau et vitesse de circulation en population	Population (Sidep ou Sivic) Variation indicateurs S-1 / S-2	Eaux usées Variation indicateurs S-1 / S-2	Interprétation	
STEU Zone urbaine	Circulation virale modérée à élevée, phase ascendante d'une vague épidémique, atteinte d'un plateau, phase descendante	Augmentation de la concentration	Stabilisation de la concentration	Non convergent : valider la variation, peut indiquer un rebond de la circulation – mesures de gestion pas suffisamment efficaces	Renforcement communication préventive, renforcement du dépistage, renforcement TAP, renforcement de l'application des mesures de distanciation physique et mesures barrières - Prévention des tensions hospitalières
Prélèvement hebdomadaire	Taux d'incidence modéré à élevé* (>20/10 <sup>5</sup> hab.)	Diminution des indicateurs d'incidence****	Diminution de la concentration	Cohérent : peut indiquer un ralentissement de la circulation – mesures de gestion efficaces	Pas de changement, poursuite des mesures mise en place
Eaux usées sortie petite communauté de population supposée « zéro Covid-19 » (Ehpad, école, campus, etc.)	Absence de circulation	Aucun cas signalé dans la communauté	SARS-CoV-2 dans les eaux usées non détecté	Cohérent	Pas de changement, poursuite de la surveillance
Prélèvement bihebdomadaire		Détection de SARS-CoV-2 dans les eaux usées		Présence d'au moins une infection dans la communauté	Investigation dans la communauté : dépistage et recherche de cas Renforcement des mesures de distanciation physique

\* données Sidep ; \*\* données SIVIC ; \*\*\*sources : Oscour, Sidep, SIVIC ; \*\*\*\* l'incidence étant dépendante du taux de positivité et du taux de dépistage, les variations de cet indicateur doivent être interprétées en fonction des stratégies de dépistage dans les populations ; TAP : tester alerter protéger

## 6. UNE APPROCHE PARTENARIALE

La mise en place de la surveillance du génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées pour l'action de santé publique nécessite une approche multidisciplinaire qui regroupe :

- des personnes chargées de la gestion et du traitement des eaux usées (opérateurs publics/privés) pour l'accès aux sites, la connaissance des réseaux d'eaux usées +/- la réalisation des prélèvements ;
- des personnes chargées des prélèvements, des analyses, de la validation et du rendu des résultats (bureaux d'études, laboratoires d'analyses) pour la surveillance en routine ;
- des personnes chargées de la surveillance épidémiologique à un niveau local et national (Santé publique France) pour la définition des objectifs de surveillance, la connaissance des données de surveillance en population et l'évaluation du dispositif ;
- des personnes chargées de l'expertise microbiologique (Anses, équipes de recherche, laboratoires d'analyse, CNR des virus respiratoires) pour définir les protocoles d'analyse, évaluer les méthodes ;
- des personnes chargées de faire progresser les connaissances (équipes de recherche) ;
- des personnes chargées de la gestion (agences régionales de santé, Direction générale de la santé, préfetures, collectivités) pour intégrer les résultats issus des mesures dans les eaux usées dans les décisions de gestion ;
- des financeurs : sur ce point, les coûts estimés s'élèveraient à 25 000 euros annuel par site de surveillance avec une fréquence de deux prélèvements par semaine [4].

En complément, les gestionnaires d'établissements (Établissements et services médico-sociaux - ESMS, campus, prison, etc.) devraient pouvoir bénéficier d'informations sur les intérêts et limites de la surveillance dans les eaux usées afin d'éclairer les mesures de gestion/surveillance dont ils sont responsables.

La réalisation de la surveillance nécessite la création de structures de coordination à une échelle nationale et locale afin de garantir l'application d'une stratégie d'échantillonnage, de protocole et techniques d'analyse et de rendu des résultats cohérents sur l'ensemble du territoire et compatibles avec les objectifs de santé publique. Ce type de structure est cohérent avec la recommandation de l'Union européenne 2021/472 qui « *encourage les États membres à mettre en place des structures adéquates associant les autorités sanitaires et les autorités compétentes dans le domaine des eaux usées dans le but de fusionner et relier l'ensemble des données pertinentes et de coordonner l'interprétation et la communication des résultats* » [23].

## 7. ÉVALUATION DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE

À ce stade de développement, la plus-value des résultats de la surveillance dans les eaux usées par rapports aux données de santé en terme de sensibilité de détection, de précocité de détection et de suivi des tendances nécessite d'être évaluée. Pour l'objectif qualitatif, une comparaison avec les données de santé (hospitalisations Sivic sur le bassin de collecte et cas Sidep sur le bassin de collecte) permettra de préciser le délai entre les changements observés dans les eaux usées et ceux observés dans les données de santé. Les délais nécessaires au rendu des résultats dans les eaux usées et à la mise à disposition des données de santé doivent être considérés dans cette analyse.

## 8. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

En cas de réalisation de recherches de génome de SARS-CoV-2 dans les eaux usées d'un secteur géographique resserré voire d'un établissement ou d'un immeuble pouvant relever du domaine privé, une attention devra être portée pour s'assurer du respect des critères d'anonymat de la Commission Nationale de l'Information et des Libertés (CNIL). Il sera notamment nécessaire de s'assurer de l'absence de corrélation avec un autre fichier qui permettrait par croisement d'identifier une personne. Par ailleurs, la diffusion très extensive des fichiers de résultats pourrait être interprétée comme pouvant porter atteinte à la vie privée des personnes concernées.

## 9. PRINCIPALES RECOMMANDATIONS

### 9.1 Pour la surveillance

Il semble nécessaire de recommander :

- De disposer d'une méthode d'analyse standardisée et harmonisée entre les laboratoires qui suivent différents sites de prélèvements ;
- D'utiliser un protocole de prélèvement standard et reproductible, d'une part pour les eaux prélevées en entrée de station de traitement des eaux usées et pour celles prélevées en amont dans le réseau d'eaux usées (collecteurs, sortie d'établissements d'intérêt) ;
- De disposer d'un protocole de déploiement de méthode pour pouvoir détecter rapidement sur l'ensemble du territoire la diffusion spatio-temporelle de variants émergents après identification par le CNR des virus respiratoires ;
- De disposer d'un référentiel d'interprétation analytique pour pouvoir juger de variations réelles entre deux prélèvements (diminution ou augmentation) en tenant compte de l'incertitude de la mesure liée au prélèvement et à l'analyse ;
- De disposer d'un tableau de bord centralisé des indicateurs standardisés et de cartographie de ces indicateurs.

### 9.2 Pour la recherche

Il peut être recommandé :

- De promouvoir des méthodes d'analyse et de séquençage des variants du SARS-CoV-2 dans les eaux usées en lien avec le CNR des virus respiratoires en vue de renforcer leur surveillance ;
- De promouvoir l'acquisition de connaissances sur les seuils de détection et quantification dans les eaux usées et les comparer aux données d'incidence en population générale ;
- De promouvoir l'acquisition de connaissances sur l'excrétion virale dans les selles ;
- De promouvoir l'acquisition de connaissances sur la relation entre la quantité d'ARN du SARS-CoV-2 dans les eaux usées et le nombre de personnes infectées en population générale.

(...)

DOCUMENT 5

# Comment mettre en place une stratégie de surveillance et de prévention de la Covid-19 à partir de prélèvements d'eaux usées

## ***Le cas des établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD)***

***3 novembre 2020***

### **Synopsis**

La détection du SARS-CoV-2 dans les eaux usées est révélatrice des prochains foyers épidémiques de la Covid-19 et permet de mettre en place une stratégie ciblée de prévention. C'est ce que révèle l'étude menée de septembre à octobre 2020 par le Bataillon des Marins-Pompiers de Marseille, en collaboration avec C4Diagnostics, dans le cadre d'une mission de surveillance sanitaire. Les nouveaux foyers épidémiques peuvent donc être anticipés, ce qui permet d'appliquer des mesures préventives ciblées suivant le logigramme Tester-Tracer-Isoler pour les personnes mais aussi, de vérifier l'état de contamination des lieux suspects.

Cette approche, appliquée à la surveillance hebdomadaire d'un réseau de 78 établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD) dans la métropole marseillaise, a permis aux établissements dont les résultats se sont avérés positifs de prendre les mesures sanitaires nécessaires afin d'éviter la propagation du virus en leur sein.

**C4Diagnostics – Étude de cas**

Dr Damien Thomas, PhD

Directeur Recherche et Développement

## Contexte

A l'hiver 2019, l'émergence de la Covid-19, maladie infectieuse mortelle causée par le virus SARS-CoV-2<sup>1</sup> a demandé le développement de différents outils de détection adaptés à différents cas d'usage. Le cas des EHPAD est un excellent exemple de l'utilité d'une approche macroscopique des moyens de surveillance actuellement disponibles et mis en place. Plusieurs rapports démontrent une mortalité accrue pour les personnes résidant en établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (EHPAD) et d'établissements médico-sociaux (EMS) ; en effet, avec plus d'un tiers des décès liés à la Covid-19 durant la première vague épidémique<sup>2</sup>.

Plusieurs études montrent la corrélation géographique entre la présence de SARS-CoV-2 dans les réseaux d'eaux usées et les cas cliniques répertoriés dans ces mêmes zones<sup>3-6</sup>. Ainsi l'OMS a publié ses préconisations concernant la pertinence d'analyser les eaux usées afin de prévenir et d'anticiper toute apparition de cluster, notamment après que des études ont reporté la détection du SARS-CoV-2 dans des échantillons environnementaux plusieurs jours avant la détection clinique du virus<sup>7</sup>.



Membres de l'équipe COMETE  
Crédit photo : ©BMPPM



Test dans le laboratoire C4Diagnostics

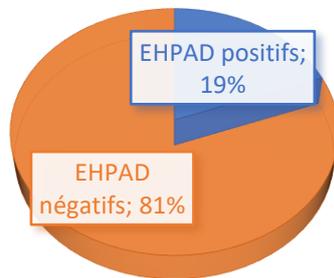
## Mise au point et développement d'un test de détection du SARS-CoV-2 dans les eaux usées

C4Diagnostics, spécialisée dans la conception, le développement et la commercialisation de solutions de diagnostic de maladies infectieuses, avait précédemment développé une gamme de solutions permettant la détection du SARS-CoV-2 dans l'air, sur les surfaces et chez l'homme. Dans le cadre de sa collaboration avec le Bataillon des Marins-Pompiers de Marseille (BMPPM), C4Diagnostics a également mis au point un protocole de prélèvement, de préparation des échantillons et de détection du SARS-CoV-2 dans les eaux usées par RT-PCR (limite de détection 100 copies génomiques/ml, correspondant à 100 particules virales / ml).

## Résultat de la campagne de surveillance et de prévention de la Covid-19 dans des EHPAD

En collaboration avec le BMPPM et sa cellule COMETE (Covid Marseille Environmental Testing), C4Diagnostics a analysé, entre le 23 septembre et le 16 octobre, 272 échantillons issus de 78 EHPADs de la métropole marseillaise. Sur les 272 échantillons analysés, 25 ont été confirmés positifs au SARS-CoV-2 (graphe 1).

**RÉSULTATS D'ANALYSES DES 272 PRÉLÈVEMENTS D'EAUX DES  
78 EHPAD RÉALISÉS PAR LE BMPM ENTRE LE 23/09 ET  
16/10/2020**



**Graph 1 : Taux d'analyse positive des échantillons d'EHPAD**

Sur les 78 EHPADs testés et suivis de manière hebdomadaire, les analyses réalisées sur les prélèvements de 15 établissements ont révélé la présence du virus. Ainsi ces EHPAD ont pu rapidement mettre en place des campagnes de dépistage et prendre les précautions sanitaires adaptées. Le principal intérêt de ces analyses, est de pouvoir détecter le plus précocement possible les personnes contaminées (résidents et personnels confondus) et donc de pouvoir anticiper les mesures de protection et de prévention adéquats pour prévenir tout démarrage de cluster (tableau 1).

Nom	Prélèvement	Résultats	Prélèvement	Résultats	Prélèvement	Résultats	Prélèvement	Résultats
Centre 1	23/09/2020	Negatif	30/09/2020	Negatif	07/10/2020	Positif	12/10/2020	Negatif
Centre 2	25/09/2020	Negatif	02/10/2020	Negatif	09/10/2020	Positif	13/10/2020	Negatif
Centre 3	21/09/2020	Negatif	30/09/2020	Negatif	06/10/2020	Negatif	13/10/2020	Positif
Centre 4	22/09/2020	Negatif	30/09/2020	Negatif	07/10/2020	Positif	14/10/2020	Negatif
Centre 5	22/09/2020	Negatif	30/09/2020	Positif	07/10/2020	Negatif	14/10/2020	Negatif
Centre 6	22/09/2020	Negatif	30/09/2020	Positif	07/10/2020	Negatif	14/10/2020	Negatif
Centre 7	22/09/2020	Negatif	30/09/2020	Positif	07/10/2020	Negatif	14/10/2020	Positif
Centre 8	23/09/2020	Positif	01/10/2020	Positif	08/10/2020	Negatif	15/10/2020	Negatif
Centre 9	23/09/2020	Positif	01/10/2020	Negatif	08/10/2020	Positif	15/10/2020	Positif
Centre 10	24/09/2020	Negatif	02/10/2020	Positif	08/10/2020	Negatif	15/10/2020	Negatif

Rien à signaler                      Avertissement à l'EHPAD                      Retour à la normale après dépistage systématique et isolement des cas positifs

**Tableau 1 : exemple d'effet de la mise en place de mesure de dépistage et d'isolement**

Au moins deux des EHPAD où des traces de virus ont été retrouvées dans le réseau d'eaux usées n'avaient pas connaissance de résidents ou personnels infectés au SARS-CoV-2 avant le test de leurs eaux usées\*. Ces EHPAD ont pu confirmer la présence de cas après une campagne de dépistage systématique par RT-PCR de leurs résidents et personnels.

\* Communications personnelles des responsables d'EHPAD concernées

**Un des EHPAD, à la suite de cette campagne de dépistage, n'a détecté qu'un unique résident positif qui a pu être isolé immédiatement.** Le fait d'être en mesure de détecter un cas unique parmi l'ensemble des résidents du bâtiment où le virus a été détecté, souligne l'excellente sensibilité de la méthode employée. Grâce à cette détection précoce et aux actions mises en place à la suite de cette détection, **aucun cluster n'a été déploré dans la population particulièrement à risque de cet EHPAD dans les jours suivants.**

## Conclusion

La présente étude menée sur les eaux usées d'EHPADs a permis de démontrer le bénéfice d'une campagne de surveillance du virus SARS-Cov-2 en termes de prévention de nouveaux foyers épidémiques de la Covid-19, pour une catégorie de personnes hautement vulnérables.

Le test des eaux usées est donc un moyen particulièrement efficace, rapide et économique de surveillance générale pour identifier et contrôler l'épidémie dans des lieux clos et ainsi adapter les mesures sanitaires.

L'exemple de l'EHPAD déplorant un cas unique de contamination précédemment cité témoigne de l'efficacité et de l'intérêt de cette démarche.

Les tests sur eaux usées permettent une **surveillance régulière à l'échelle d'un établissement.** Associés au **dépistage ponctuel de personnes**, cette approche limite les risques de cluster au sein de cette population particulièrement fragile et se présente comme un **outil potentiel de surveillance et de prévention de l'épidémie de la Covid-19.**

## Bibliographie

1. [www.who.int/fr/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019](http://www.who.int/fr/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019)
2. Surveillance de la mortalité au cours de l'épidémie de covid-19 du 2 mars au 31 mai 2020 en France, Santé Publique France
3. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in Sewage and Correlation with Reported COVID-19 Prevalence in the Early Stage of the Epidemic in *The Netherlands. Environmental Science & Technology Letters*. DOI: 10.1021/acs.estlett.0c00357.
4. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, Grubaugh ND, Kaplan EH, Casanovas-Massana A, et al. SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak dynamics. *medRxiv*, 2020
5. Wu F, Xiao A, Zhang J, Moniz K, Endo N, Armas F, et al. SARS-CoV-2 titers in wastewater foreshadow dynamics and clinical presentation of new COVID-19 cases. *Medrxiv*, 2020 ;
6. Wurtzer S, Marechal V, Mouchel JM, Maday Y, Teyssou R, Richard E, et al. Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. *medRxiv*, 2020 ;
7. [www.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333861/WHO-2019-nCoV-Sci\\_Brief-EnvironmentalSampling-2020.1-fre.pdf](http://www.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333861/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-EnvironmentalSampling-2020.1-fre.pdf)



[Canada.ca](#) > [Maladie à coronavirus \(COVID-19\)](#)

# Surveillance de la COVID-19 dans les eaux usées

À propos du tableau de bord

Tableau de bord sur les eaux usées

Notes techniques

## Notes techniques

Renseignements sur la façon dont nous effectuons les analyses des eaux usées et les limites des données. Les notes comprennent également des définitions de certains des termes scientifiques utilisés dans le présent tableau de bord.

## Sur cette page

- [Méthodologie](#)
- [Limites](#)
- [Définitions](#)

## Méthodologie

Des scientifiques dans tout le pays fournissent des données de surveillance des eaux usées par l'entremise de leurs réseaux provinciaux et territoriaux.

Ils sont encore en train d'apprendre comment détecter et mesurer la COVID-19 dans les eaux usées. Bien qu'il y ait différentes façons de le faire, la communauté scientifique, y compris l'Agence de la santé

publique du Canada, collabore pour élaborer une norme qui aidera tout le monde à comprendre, à comparer et à partager les données sur la COVID-19 dans les eaux usées.

Nous avons comparé les données sur les eaux usées avec les données locales et avons constaté que les tendances sont cohérentes. Les différences dans la force des signaux des eaux usées sont principalement attribuables aux différences dans les méthodes de traitement.

Nous présentons la charge virale de la COVID-19 comme une moyenne mobile sur 7 jours, car des niveaux élevés pour une seule journée ne montrent pas la tendance générale. Notre approche nous aide à comprendre les tendances globales tout en vous donnant de meilleurs renseignements pour prendre vos propres décisions en matière de santé.

Nous présentons des données pour tous les sites, y compris les endroits desservis par plusieurs usines de traitement des eaux usées.

## Limites

Bien que la surveillance des eaux usées offre de nombreux avantages, elle comporte certaines limites.

Le signal des eaux usées peut être caché par la composition des eaux usées, qui varie selon la collectivité. Par exemple, les eaux souterraines ou de surface peuvent renforcer ou affaiblir le signal de la COVID-19 dans les eaux usées. Cela peut être un problème pendant la fonte des neiges saisonnière et les pluies abondantes.

Le signal des eaux usées peut également être affecté par :

- l'écoulement industriel dans le réseau d'égout
- le sable et le sel sur les routes en hiver

- la température du système de collecte

Nous travaillons avec nos partenaires pour cerner d'autres problèmes liés à la surveillance des eaux usées et pour élaborer des mesures visant à réduire les effets.

La surveillance des eaux usées détecte également les personnes présentant ou non des symptômes. Compte tenu des limites ci-dessus, nous ne savons pas exactement quelle quantité de virus est éliminée à chaque vague. Pour cette raison, nous ne recommandons pas de comparer les données de surveillance des eaux usées des différentes vagues de COVID-19 pour estimer le nombre de cas dans une collectivité.

## Définitions

- **La moyenne sur 7 jours** est générée en faisant la moyenne des niveaux d'un jour donné avec les six jours précédents. La moyenne est appelée « mobile », car elle change chaque jour.
- Le nombre de **copies par ml** correspond au nombre de copies de l'ARN cible trouvé dans un millilitre (ml) d'eaux d'égout brutes par l'installation de traitement des eaux usées en question.
- La **charge virale** est la quantité de matériel génétique du SRAS-CoV-2 présent dans un échantillon d'eaux usées.
- **Le signal des eaux usées** est une mesure du niveau de virus dans les eaux usées qui permet de déterminer le nombre croissant, stable ou décroissant de particules virales dans les eaux usées.

Pour savoir plus sur la surveillance des eaux usées, veuillez consulter [Tirer parti de l'analyse des eaux usées pour la détection d'éclosions de COVID-19.](#)

# Covid-19 et eaux usées : le réseau Obépine s'étend et peaufine ses modèles prédictifs

Au mois de mars, la corrélation entre la présence du virus dans les eaux usées et l'évolution de la maladie a été démontrée. Un réseau de surveillance national, Obépine, est en train de se mettre en place et apporte ses premiers résultats. Objectif : établir des modèles prédictifs pour mieux combattre l'épidémie.

Alexandre Couto

17 Novembre 2020 \ 09h00



Un réseau de 158 stations d'épuration vont surveiller la présence du virus dans les eaux usées

Ce n'est pas dans le marc de café, mais dans les eaux usées des grandes agglomérations que nous pourrions peut-être prédire la dynamique de l'épidémie de covid-

19. À l'occasion d'une conférence de presse organisée le 16 novembre, le réseau Obépine (pour OBservatoire EPIdémologique daNs les Eaux usées), créé à l'initiative du laboratoire Eau de Paris, des chercheurs de Sorbonne Université et de l'institut de Recherche Biomédicales des Armées pour détecter la charge virale du SARS-CoV-2 dans les eaux des stations d'épuration, a présenté un point d'étape sur son déploiement.

Lancé dès le 5 mars en région parisienne, le réseau a bénéficié des soutiens du Comité Analyse Recherche et Expertise (CARE), qui lui a octroyé une dotation de 500 000 euros à ses débuts, et du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI), qui lui a débloqué un fonds d'urgence de 3,5 millions d'euros. Objectif : la mise en place d'un réseau national de surveillance regroupant 158 stations d'épuration et 7 laboratoires de référence pour l'analyse des eaux usées. A l'heure actuelle, le réseau compte 82 stations. Les dernières stations pourraient se greffer au dispositif d'ici la fin décembre et Obépine réalisera à ce stade entre 300 et 600 analyses hebdomadaires.

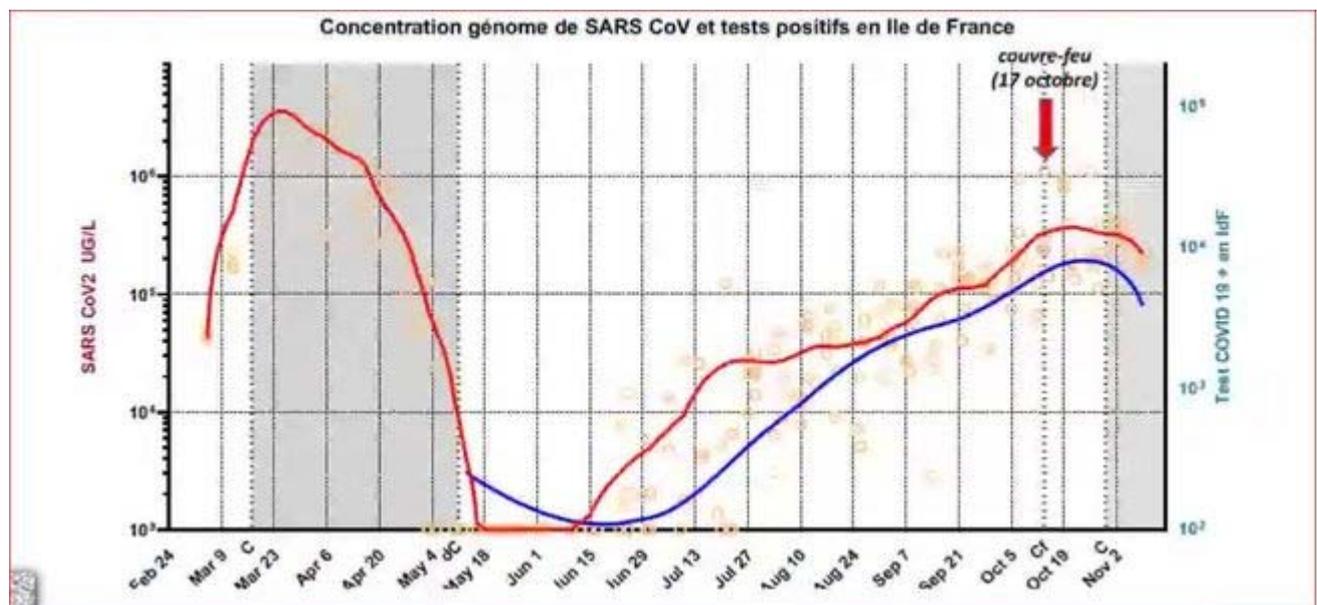
## Un indicateur macro-épidémiologique

Si cette surveillance des eaux usées importe, c'est qu'elle constitue l'un des rares indicateurs macro-épidémiologiques permettant un suivi à peu près en temps réel de l'épidémie, voire même parfois avec un coup d'avance. En effet, si le SARS-CoV-2, le virus responsable de l'épidémie de covid-19 est un virus principalement respiratoire, il y a une répllication dans le tube digestif. Il est ensuite excrété dans les selles qui se retrouvent dans les eaux usées.

« Bien que nous retrouvions des traces du virus dans les eaux usées, celui-ci est très largement non-infectieux », rassure Vincent Maréchal, virologue à Sorbonne Université et cofondateur d'Obépine, « Nous trouvons essentiellement des traces du génomes, mais le passage dans les selles et l'environnement des eaux usées malmènent le SARS-CoV-2 ».

L'analyse de ces traces du virus dans les systèmes de traitement des eaux est particulièrement intéressante, car elle pourrait permettre de prédire presque une semaine à l'avance la dynamique de l'épidémie. « Certaines données nous donnent une prédiction assez fidèle de la hausse du nombre de cas 5 à 6 jours avant de les dépister », explique Laurent Moulin, microbiologiste au laboratoire Eau de Paris.

Les chiffres sont éloquentes : sur la courbe ci-dessous les effets du 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> confinements sont nettement visibles sur la courbe de concentration du virus dans les eaux usées (courbe rouge), en Ile-de-France, ainsi que la reprise de l'épidémie qui a eu lieu à partir de la mi-juin. La dynamique était légèrement en avance sur le nombre de personnes testées positives au covid-19 dans la région (courbe bleue).



La dynamique de concentration du virus dans les eaux usées (en rouge). L'effet du premier et du deuxième confinement sont visibles (dans les zones grisées). A la reprise de l'épidémie, en juin, cet indicateur était en avance sur la dynamique du nombre de personnes testées positives au covid-19

## Un modèle difficile à établir

Si la corrélation semble évidente, il est cependant difficile d'établir un véritable modèle prédictif. Il s'agit pourtant de l'une des finalités d'Obépine : tirer du terrain des informations qui permettront de calibrer l'action publique en fonction de l'évolution de la maladie.

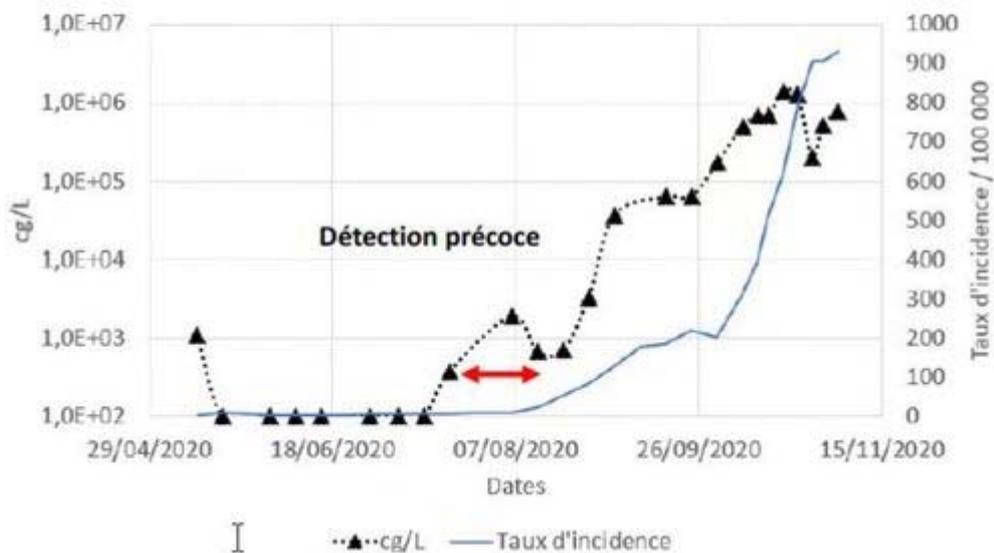
Deux autres courbes présentées lors de cette présentation illustrent bien toute la difficulté de cette étude.

En PACA, Occitanie et Pays de Loire, les courbes de la charge virale dans les eaux usées et du taux d'incidence ont suivi une évolution simultanée. A contrario, les signaux en Rhône-Alpes, Grand-Est, Bourgogne et Hauts de France ont pu être détectés de manière précoce.

### Profil type PACA, Occitanie et Pays de Loire



## Profil type région Rhône Alpes, Grand-Est, Bourgogne ou Hauts de France



Les régions affichent des profils différents qui sont pour le moments difficilement explicables.

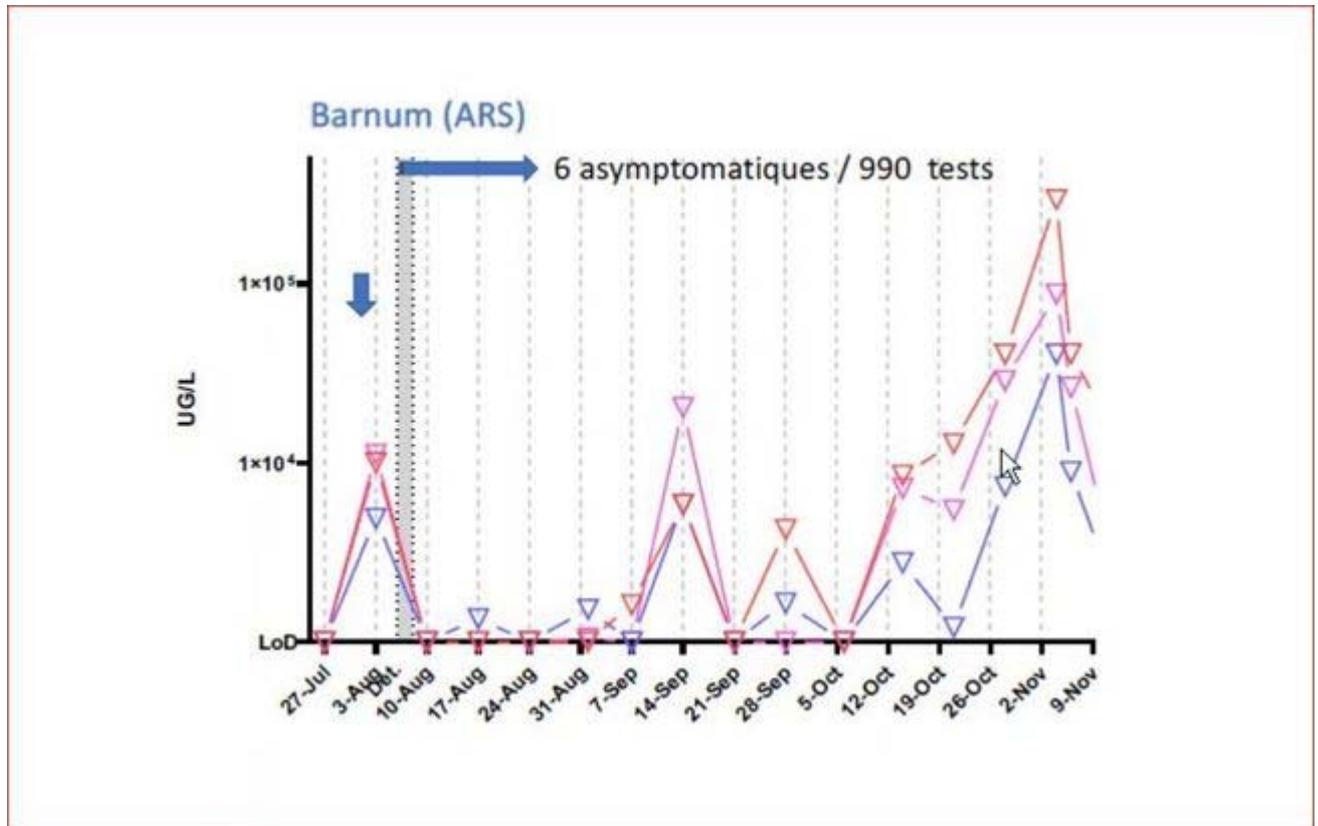
« Pour le moment ces variations sont encore mal comprises », pointe Christophe Ganzer, virologue au CNRS « Cela peut-être lié au contenu des eaux usées, à leur composition chimique. C'est en cours d'investigation ». Pour Yvon Maday, mathématicien à Sorbonne Université travaillant sur les modèles d'Obépine, ces différences pourraient s'expliquer par certains mouvements de population dans la région ou à certains comportements.

## Le cas des asymptomatiques

Une autre inconnue - et c'est tout l'enjeu pour maîtriser l'épidémie - est celle de la population asymptomatique. « Nous savons qu'environ 50 à 60 % des personnes contaminées sont asymptomatiques. Ils peuvent transmettre la maladie et excréter du virus », explique Vincent Maréchal, « Ces malades ne se font presque jamais dépister et nous ne savons pas exactement pendant combien de temps ils excrètent le virus. Nous manquons vraiment de données ». Une étude est actuellement en cours avec le service de santé des armées afin de déterminer la durée et la quantité de virus excrété par une personne asymptomatique.

Toutefois, dans certaines circonstances, l'étude des eaux usées permet de mieux dépister ces asymptomatiques. Vincent Maréchal met en avant le cas de l'Île d'Yeu : « Il s'agit d'un territoire isolé, exposé à une entrée et à des circulations du virus sur un territoire délimité. Nous avons commencé à mettre sous surveillance la station d'épuration de l'île d'Yeu. Ce qui s'est passé : Le 3 août, les eaux usées de l'île d'Yeu sont revenues positives. Et quelques jours plus tard un barnum est mis en

place par l'agence régionale de santé (ARS) pour tester la population, et cela a permis de trouver 6 porteurs asymptomatiques sur presque 1000 personnes testées ». Une technique qui n'est pas sans rappeler celle du pooling, préconisée par certains pour renforcer la stratégie de dépistage.



Le 3 août les eaux usées de l'île d'Yeu présentent des traces du SARS-CoV-2. Un dépistage dans la foulée a permis de trouver 6 cas asymptomatiques sur près de 1000 tests.

## Des banques d'eaux usées

L'analyse des eaux usées constituent un indicateur puissant pour apporter des réponses adaptées aux réalités du terrain. Cependant, il manque un historique à cette étude et il est impossible de remonter plus loin que le mois de mars pour trouver des traces du SARS-CoV-2 dans les eaux. « *Contrairement aux Italiens qui ont pu déterminer que le virus circulait chez eux dès le mois de décembre 2019, grâce à des échantillons d'eaux usées qui avaient été conservés, il nous est impossible de remonter aussi loin. Nous ne savons pas quand le virus est arrivé. L'information a été perdue* », déplore Vincent Maréchal. Dans le cadre du projet Obépine, les chercheurs vont mettre en place une banque d'eaux usées pour conserver des informations essentielles.

Obépine devrait se poursuivre au minimum jusqu'au printemps prochain. Ces travaux serviront plus tard au suivi d'épidémies plus communes, comme la gastro-entérite ou la grippe saisonnière.



## COVID-19 : QU'APPORTE LA DÉTECTION DE LA VAGUE SOUTERRAINE ?

© 9 mars 2021

*Illustration Diane Rottner pour I'MTech*

**La détection des contaminations au virus SARS-CoV-2 responsable de la Covid-19 permet notamment de suivre l'évolution de la pandémie. La plupart des méthodes se basent sur le dépistage individuel de patients, présentant des désavantages de coût et de délais. D'autres approches, basées sur la détection du SARS-CoV-2 dans les eaux usées des villes ont été développées pour suivre l'évolution des contaminations. Miguel Lopez-Ferber, chercheur à IMT Mines Alès, a mené une étude de détection du virus des eaux usées au sein du campus de l'école. Cette approche précise à petite échelle permet de collecter des informations sur les causes probables de contamination.**

### Comment détectez-vous la présence du Sars-CoV-2 dans les eaux usées ?

**Miguel-Lopez-Ferber** : Nous utilisons la technique développée par Medema en 2020. Après avoir récupéré la partie liquide des échantillons d'eaux usées, nous utilisons une technique de centrifugation qui nous permet d'isoler une phase qui contient les particules de la taille du virus. À partir de cette phase, nous procédons à une extraction des génomes viraux présents pour effectuer des PCR. La PCR (réaction en chaîne par polymérase) est une technique qui permet d'amplifier un signal génétique. Si la PCR amplifie des fragments de génome viral spécifiques au Sars-CoV-2, alors le virus est présent dans l'échantillon d'eau usée.

### Cette technique permet-elle de connaître la concentration du virus ?

**MLF** : Oui. Grâce à notre partenariat avec l'équipe PHYSE du laboratoire HydroSciences Montpellier et la startup IAGE, nous utilisons la technique de PCR digitale qui est une version plus résolutive de la PCR quantitative. Cela nous permet de savoir combien de copies de génome viral sont présentes dans les échantillons. Avec des prélèvements chaque semaine, nous pouvons connaître l'évolution de la concentration de virus dans les eaux usées.

## Quel est l'intérêt de quantifier le virus dans les eaux usées ?

**MLF** : Cette méthode permet notamment de détecter rapidement des cas d'infection virale : le SARS-CoV-2 est présent dans les excréments le jour qui suit l'infection. Il est donc possible de détecter des contaminations bien avant l'apparition de premiers symptômes potentiels chez les individus. Cela permet d'affirmer rapidement si le virus circule activement ou pas et s'il y a une augmentation, une stagnation ou une diminution des infections. En revanche, à l'échelle à laquelle ces études sont menées, il est impossible de savoir qui est infecté, ou combien de personnes sont infectées, car la charge virale est variable selon les personnes.

## Qu'apporte votre étude sur le campus d'IMT Mines Alès dans ce type d'approche ?

**MLF** : Jusqu'à présent, les études de ce type ont été menées à l'échelle des villes. Nous avons réduit les cohortes à l'échelle du campus de l'école ainsi que différents bâtiments du campus. Cela nous a donc permis de remonter les informations d'échantillonnage depuis l'école entière jusqu'à certains points précis de celle-ci. Depuis mi-août, nous avons pu observer les effets des différents événements qui influencent la circulation du virus, dans un sens comme dans l'autre.

## De quel type d'évènements s'agit-il ?

**MLF** : Par exemple, au mois d'octobre, nous avons rapidement vu l'effet d'une fête dans un bâtiment du campus : seulement 72 heures après, nous avons observé un pic de circulation de virus dans les eaux usées de ce bâtiment, indiquant donc de nouvelles contaminations. *A contrario* : lorsque des mesures restrictives ont été appliquées, comme la mise en quarantaine ou le deuxième confinement, nous avons pu voir une diminution de la circulation du virus dans les jours qui ont suivi. C'est plus rapide que d'attendre de voir l'impact du confinement sur les contaminations 2 à 3 semaines après sa mise en place. Cela montre non seulement l'efficacité des mesures, mais permet aussi de savoir d'où proviennent les contaminations et de les lier à des causes probables.

## Que pourrait apporter ce type d'approche dans la gestion de la crise ?

**MLF** : Cette approche est plus résolutive dans le temps et coûte beaucoup moins cher que celle qui consiste à tester chaque personne pour suivre l'évolution de l'épidémie. À l'échelle des écoles ou des structures similaires, cela permettrait d'agir rapidement pour, par exemple, mettre en quarantaine certains secteurs avant que la contamination devienne trop importante. De manière générale, cela permettrait de mieux limiter la propagation et d'anticiper les situations à venir, comme par exemple les pics d'hospitalisations, jusqu'à trois semaines avant qu'ils n'aient lieu.

*Par Antonin Counillon*

## La démarche "projet de service coopératif"

Nicolas Rapin  
Publié le 03/05/2016 à 10h30



equipe\_cooperation© imaginando

**Le projet de service, qui a pour but de recentrer l'action sur la valeur ajoutée (le sens) et de mettre en lien les missions avec l'environnement et les orientations nationales (la cohérence), rencontre fréquemment des difficultés d'appropriation auprès des managers et des équipes. Au lieu de contribuer à l'efficacité de l'action publique et au renforcement de ce sens et de cette cohérence, la dynamique de projet de service crée souvent une surcharge de travail et constitue un vecteur de frustration pour les acteurs.**

Faute de temps, de compréhension, de méthode, d'adhésion des agents, les managers sont souvent contraints de rédiger un **projet de service** théorique qui rencontre des difficultés à « faire sens » sur le terrain. Fort de ce constat, certaines administrations continuent à le déployer en essayant d'associer les équipes, d'autres font le choix de travailler uniquement sur un rédactionnel réalisé par le manager ou un stagiaire, tandis que d'autres se sont résignées et ont abandonné cette démarche projet.

## Le projet de service, une démarche avant d'être une finalité

Faisons l'hypothèse qu'une des raisons majeures de cet échec est une incompréhension sur le « sens » même du **projet de service**. Le projet de service est souvent considéré comme une finalité en soi, car il vient souvent d'une demande hiérarchique. Il peut donc se résumer à la rédaction d'un document à destination du commanditaire, « le chef ».

Il est donc pertinent de parler de **démarche projet de service coopératif** qui, au lieu d'être une finalité, est un moyen pour :

- les équipes, de travailler sur le sens et la cohérence des missions en lien avec les problématiques contextuelles et les orientations nationales ;
- les parties prenantes d'optimiser la **qualité du service** reçue et de développer de véritables partenariats internes et/ou externes ;
- la hiérarchie de travailler sur la dynamique de coopération autour d'un projet commun, de pouvoir évaluer l'efficacité des missions et rendre compte.

Pour déployer une **démarche projet de service coopératif**, il y a quatre conditions de réussite.

### • **Première condition : changer l'ordre des bénéficiaires**

On ne fait pas en premier lieu une **démarche de projet de service coopératif** pour la hiérarchie.

Derrière « coopératif », il y a trois grandes notions :

- enjeux communs ;
- règles de fonctionnement collectif ;
- responsabilité.

Ces trois notions doivent être travaillées avec les équipes pour être vecteurs de « sens » et de « cohérence » et donc d'adhésion. Ensuite, il faut s'intéresser aux bénéficiaires de la mission car ils représentent le « sens », le cœur de la valeur ajoutée. Puis dans un troisième temps, la hiérarchie doit se positionner en soutien de la démarche et apporter de la « cohérence » par rapport à la structure d'appartenance.

Pour répondre à ces trois bénéficiaires, la démarche doit s'appuyer sur :

- un processus de déploiement qui va permettre de partager les représentations, clarifier les missions, les orientations et les modalités de fonctionnement collectif ;
- un résultat en termes de formalisation qui permet de travailler la lisibilité, la visibilité et le pilotage.

La démarche de projet de service coopératif est avant tout un processus qui permet de mettre en dynamique les équipes.

### • **Deuxième condition : un processus de déploiement vertical**

Il nous semble important, pour garantir la cohérence du déploiement et ne pas perdre le sens de décisions, que chaque niveau hiérarchique puisse à son niveau travailler l'appropriation des orientations stratégiques et mener une réflexion sur ses missions, son environnement et sa dynamique collective. De plus, il est intéressant de procéder à un déploiement en cascade pour modéliser, partager les bonnes pratiques managériales et renforcer les liens de solidarité du corps managérial.

### • **Troisième condition : un processus de déploiement dans les équipes**

Nous recommandons ici de travailler à deux niveaux.

Tout d'abord, la structuration de l'action (sens et cohérence au regard de la mission). Une des premières étapes lorsque l'on souhaite élaborer le **projet de service** est de questionner et partager le cœur de métier, la mission. « De quoi sommes-nous garants et pour qui ? ».

Lorsque l'environnement génère beaucoup d'imprévus, de difficultés, nous sommes parfois amenés à prendre une posture de « réactif ». Nous pouvons alors concentrer notre énergie à faire face, en réaction aux problématiques quotidiennes.

Ce mode de fonctionnement que l'on peut avoir tendance à considérer comme inéluctable, conduit souvent à la frustration. En effet, il demande beaucoup d'énergie, d'investissement mais malheureusement il n'est pas toujours adapté aux vrais besoins, car la priorité est de gérer la tâche (l'urgence) en perdant quelques fois de vue la mission (l'importance).

Pour pouvoir se positionner en « acteur » du système, il est important de se positionner de manière « pragmatique » en fonctionnant en interdépendance avec son environnement.

Ce mode réactif peut générer une posture de « dépendance » à l'environnement avec toutes les frustrations qui peuvent être associées à la perte de la maîtrise, perte de sens, manque de reconnaissance...

Pour pouvoir se positionner en « acteur » du système, centrer son énergie sur la valeur ajoutée dans une logique collective, il est donc important de se positionner de manière « pragmatique » en fonctionnant en interdépendance avec son environnement. Pour cela, il est nécessaire de réaliser un travail d'alignement sur les priorités avec le collectif, pour être en phase sur l'objet de coopération (la mission, la responsabilité collective) et sur les orientations communes en lien avec les besoins liés aux spécificités de l'environnement mais également avec les orientations nationales.

#### **À FAIRE**

##### **Passer du « chef » légitime à un « manager » crédible**

Pour accompagner le passage du « chef » légitime à un « manager » crédible, il est donc important de travailler sur deux grands points :

- *La compréhension de son rôle et de sa posture*  
La compréhension de sa zone de responsabilité est un prérequis pour construire sa crédibilité et se sentir utile. Sans cette conscience et cette clarification, il risque de ne pas savoir comment se positionner vis-à-vis de ses collaborateurs et de son manager. Dans ce cas, le réflexe est de prendre un rôle de facteur, de coordinateur donneur d'ordres et d'homme de solutions pour régler les problèmes du quotidien.
- *Le développement des compétences d'animation*  
Le manager est avant tout un animateur. Il doit gérer du processus d'animation afin que les énergies individuelles puissent trouver du sens dans un collectif. Le manager, en tant que porteur de la démarche de projet de service coopératif doit lui-même faire un travail sur sa posture afin de passer d'un rôle de coordinateur à un rôle qui permette de générer de la coopération. Pour cela, il lui faut lâcher le contrôle des personnes pour se concentrer sur le contrôle des situations.

Deuxième niveau, la structuration de la relation (mettre en œuvre les critères clés de la dynamique d'équipe). Une fois l'action mise en cohérence, il est important de travailler sur les modes d'interaction. Une équipe est un ensemble d'individus avec chacun des besoins individuels qu'il est nécessaire de prendre en compte le plus possible tout en les mettant en perspective des besoins collectifs.

Sans ce travail sur le cadre collectif, le manager prend le risque de devoir gérer des besoins individuels et des tensions relationnelles en étant le seul à essayer de porter le cadre collectif.

La démarche de projet de service coopératif doit permettre de reprendre en main les vraies priorités, de redonner du sens et de la cohérence à l'action.

• *Quatrième condition : le passage d'un « chef » légitime à un « manager » crédible*

Le manager est un élément clé de la réussite du déploiement de la démarche de **projet coopératif**. Comme nous l'avons déjà évoqué, le projet de service ne se résume pas à un livrable. Le plus important est le processus d'animation qui va permettre l'émergence de ce livrable. Le manager devra donc se positionner en animateur de son équipe pour gérer du processus plus que du contenu.

Notre expérience nous montre que ce passage du manager « expert », donneur d'ordres, centré sur le contenu, au « manager » centré sur le processus n'est pas si simple car il rencontre plusieurs freins.

Le premier va se situer au niveau des membres de l'équipe, qui auront besoin de pouvoir prendre des décisions et d'être reconnus pour leur contribution mais qui, dans le même temps, demanderont au manager de rester dans l'expertise pour résoudre leurs problèmes.

Le deuxième se situera au niveau du manager lui-même. La transition sur une posture de « manager » peut éveiller la peur d'être inutile, d'être rejeté par son équipe, de ne pas être crédible...



## Coronavirus en Ile-de-France : Le Covid-19 en baisse dans les eaux usées mais à un niveau toujours « très élevé »

**INFO «20 MINUTES»** Depuis quelques jours, les chercheurs observent une décroissance de la présence du virus dans les eaux usées franciliennes, qui reste néanmoins à un niveau très haut

Par *Caroline Politi*

Publié le 28/01/21 à 17h09 — Mis à jour le 28/01/21 à 17h39



Les chercheurs surveillent les eaux usées pour chercher des traces du Covid-19 et désormais du variant anglais — *FREDERICK FLORIN / AFP*

- Les stations de traitement des eaux usées montrent une baisse de la concentration du virus dans les eaux usées franciliennes.
- Les chercheurs traquent le variant anglais dans les eaux usées.

Une lueur d'espoir mais surtout une mise en garde. « Ce n'est pas parce qu'on observe une tendance à la décroissance ces derniers jours qu'il faut se relâcher, bien au contraire, on est toujours très au-dessus des seuils d'alerte », insiste Vincent Maréchal, professeur en virologie à l'université de la Sorbonne.

Selon nos informations, la concentration de Covid-19 dans les eaux usées de la région parisienne semble marquer le pas depuis la mi-janvier : dans trois des six stations d'épuration d'Ile-de-France, les taux sont en baisse, dans une autre, ils sont stables. Seule une station, celle d'Evry, enregistre une légère hausse. Dans la dernière, les prélèvements ont été interrompus à la mi-janvier en raison de problèmes logistiques.

### Un gros apport d'eau pluviale peut faire varier les concentrations.

Depuis le début de la crise sanitaire, les scientifiques du réseau Obépine mesurent dans les eaux usées la concentration de Sars-CoV-2 afin de saisir l'évolution de l'épidémie avec une

longueur d'avance sur les indicateurs classiques, à l'instar des tests PCR, des appels au Samu ou des hospitalisations. Car que l'on soit asymptomatique ou que l'on n'ait pas encore poussé les portes d'un laboratoire pour se faire dépister, des traces du virus sont présentes dans notre organisme et sont évacuées à travers l'urine ou les selles.

Dès le 20 juin, ils sont ainsi parmi les premiers à alerter sur un retour de l'épidémie alors que l'incidence est quasiment nulle. « C'est un indicateur stable mais qui peut être biaisé par des facteurs extérieurs, météorologiques notamment », précise le professeur en virologie. Un gros apport d'eau pluviale peut, par exemple, faire varier les concentrations.

## Un effet du couvre-feu ?

Les derniers résultats, qui seront publiés vendredi sur le site d'Obépine, montrent qu'après un rebond marqué au moment des fêtes de fin d'année dans plusieurs stations d'épuration, la situation s'est globalement stabilisée dans la région malgré quelques disparités. A Evry (Essonne), par exemple, les variations depuis plusieurs semaines sont moindres mais le plateau a tendance à monter légèrement. A Lagny-sur-Marne (Seine-et-Marne) ou à Paris Seine-Morée (Seine-Saint-Denis), la baisse est marquée.

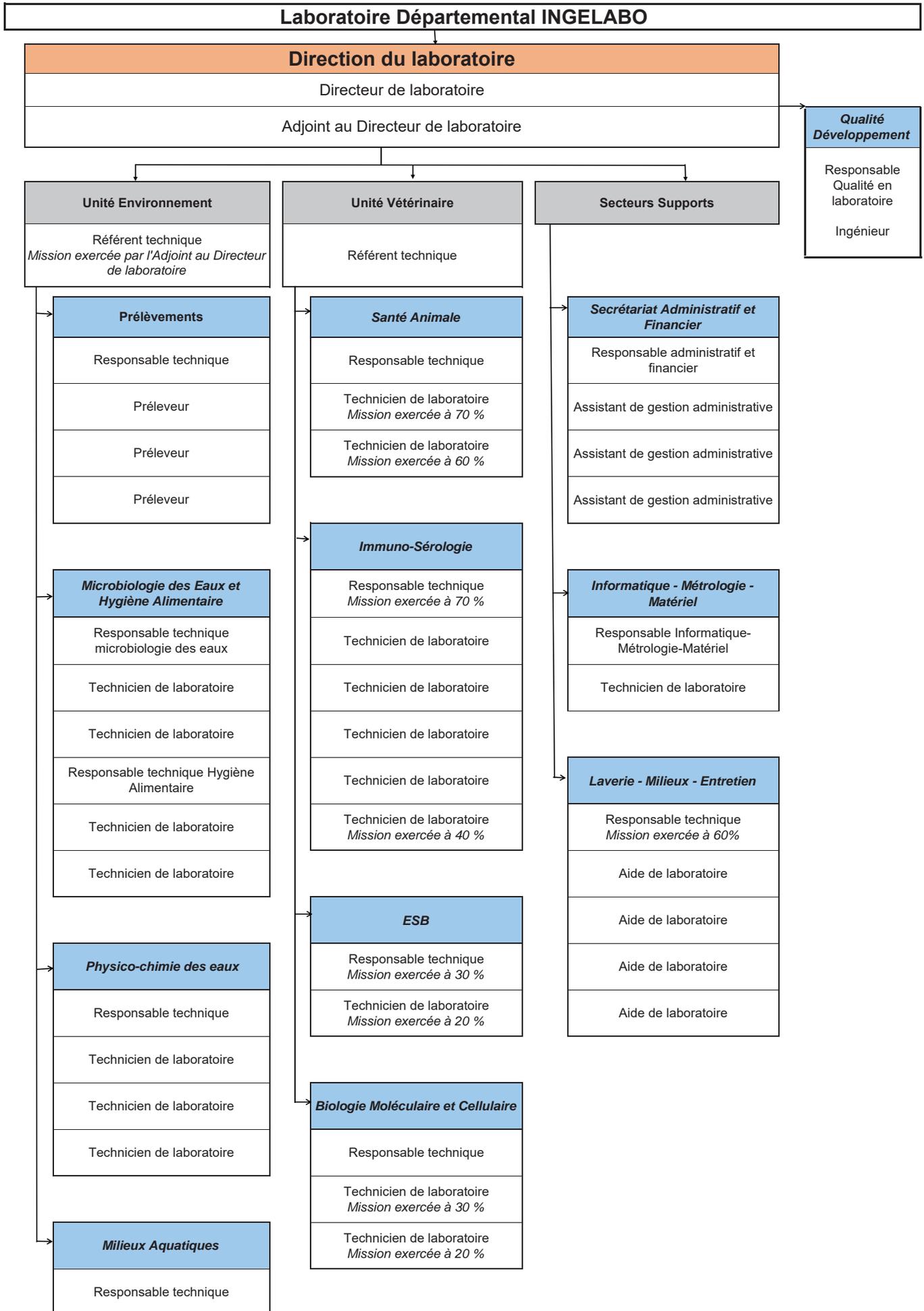
« C'est difficile d'associer un territoire à une tendance car ces stations couvrent une zone très large, précise Vincent Maréchal. Les indicateurs permettent de dégager une tendance globale mais manquent de finesse pour dire dans telle ville le virus circule plus que dans une autre. »

## Les contaminations n'ont jamais cessé

Peut-on voir dans cette baisse un effet du couvre-feu avancé à 18 h dès le 16 janvier ? Les scientifiques ont noté depuis le début de la pandémie que les effets d'une mesure étaient observés dans les eaux usées environ une semaine après son application. La situation reste néanmoins préoccupante : alors qu'après le confinement du printemps, plus aucune trace de virus n'était détectable dans les eaux usées de la région, celui d'octobre n'a pas été assorti des mêmes effets. Le recul après le pic de fin octobre a été bien moins net et les courbes restent depuis sur un « plateau haut », signe que les contaminations n'ont jamais cessé.

Désormais, les chercheurs du réseau Obépine traquent le variant anglais dont la propagation ne cesse d'inquiéter les autorités. On estime qu'il représente désormais près de 10 % des cas dans la région parisienne. « Les données peuvent remonter très rapidement si ce variant se répand dans la population », avertit le chercheur. Signe que la situation épidémique reste extrêmement précaire.

# ANNEXE A ORGANIGRAMME D'INGELABO



Covid-19 : analyses des eaux usées par le réseau OBEPINE.

**MALADIES – ÉPIDÉMIES**

## Covid-19 : ce que montrent les dernières analyses des eaux usées par le réseau OBEPINE (extraits)

Par [Xavier Demagny](#)

Publié le mardi 23 février 2021 à 06h38

L'analyse des eaux usées permet depuis plusieurs mois d'anticiper la hausse des autres indicateurs et l'éventuelle arrivée d'une nouvelle vague épidémique.

Les données du réseau de surveillance des eaux usées montrent des disparités nettes entre les différentes villes de France, dans la propagation du coronavirus. Les scientifiques cherchent désormais un moyen de détecter les variants du Sars-Cov-2, notamment le variant anglais, qui se propage en France.

Ces dernières semaines, tout le monde observe sans parler trop vite, sans parler trop fort.

L'épidémie est-elle sur une mauvaise pente ? La situation est-elle hors de contrôle ou reste-t-elle maîtrisée ? Faut-il s'inquiéter, prendre de nouvelles mesures restrictives ? Lundi, le préfet des Alpes-Maritimes [a annoncé une série de mesures](#), dont un reconfinement local cantonné aux deux prochains week-ends dans les communes du littoral du département (les plus peuplées) face à la propagation de la Covid-19 dans le département. Mais qu'en est-il, aujourd'hui, de la propagation du coronavirus en France ?

Si la situation épidémique [paraît parfois compliquée à interpréter actuellement](#), les pouvoirs publics ont, pour y voir plus clair, intégré depuis quelques mois les données du réseau Obépine, qui recherche les traces du virus dans les eaux usées. Elles permettent, en général, d'observer la progression de l'épidémie avec quelques jours d'avance sur le taux d'incidence, calculé sur la base des tests virologiques effectués par les laboratoires.

Un indicateur [créé dès le printemps](#), qui permet d'anticiper plus ou moins l'arrivée d'une vague et la hausse des autres chiffres clés (comme le taux d'incidence), qui a sans doute pesé dans la décision de ne pas reconfiner début février, mais autour duquel des questions se posent quant à la prise en compte des variants.

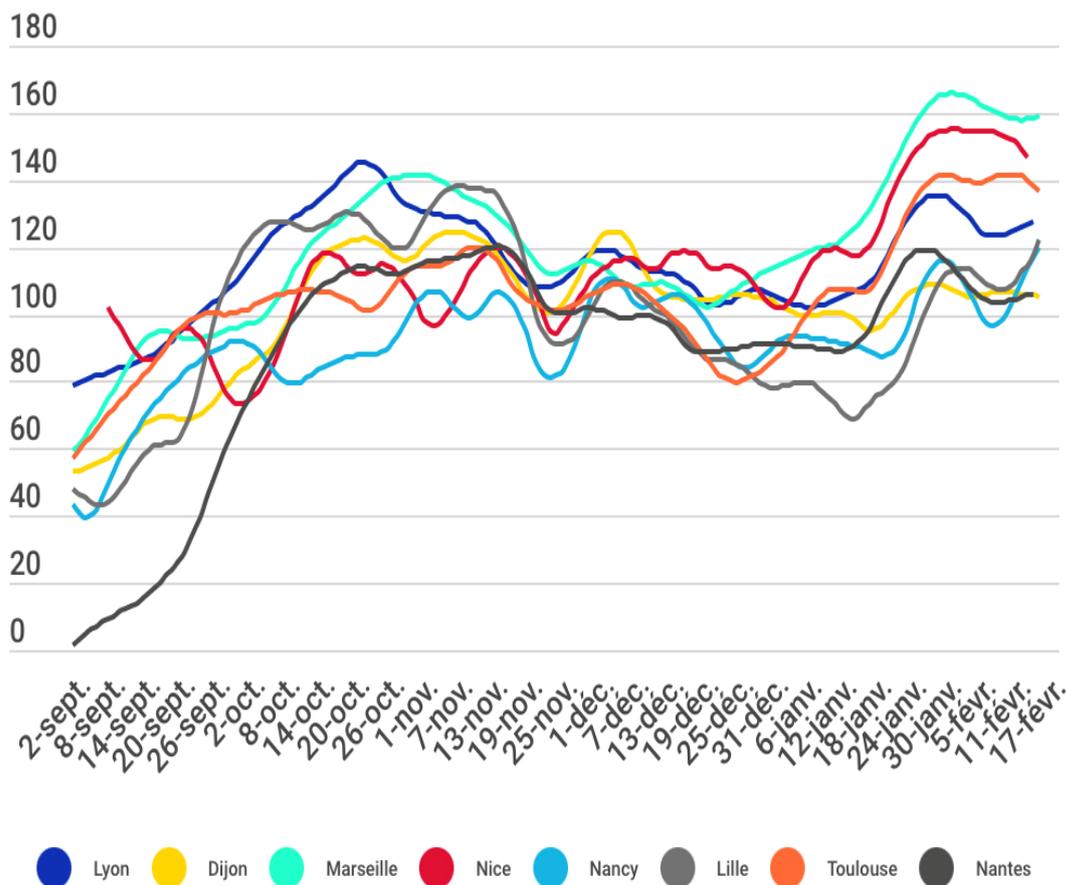
## Circulation toujours active du virus

Sur la table du prochain conseil de défense sanitaire, qui pourrait se tenir mercredi, l'exécutif trouvera donc sans doute le dernier rapport du réseau Obépine, missionné depuis juillet par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche pour coordonner ce réseau de surveillance.

(...)

EVOLUTION DES TRACES DE VIRUS DANS LES EAUX USEES  
METROPOLES GRAPHIQUE 1

Indicateur de tendance pour  
le suivi de l'épidémie  
(quantification des génômes  
viraux dans les eaux usées)

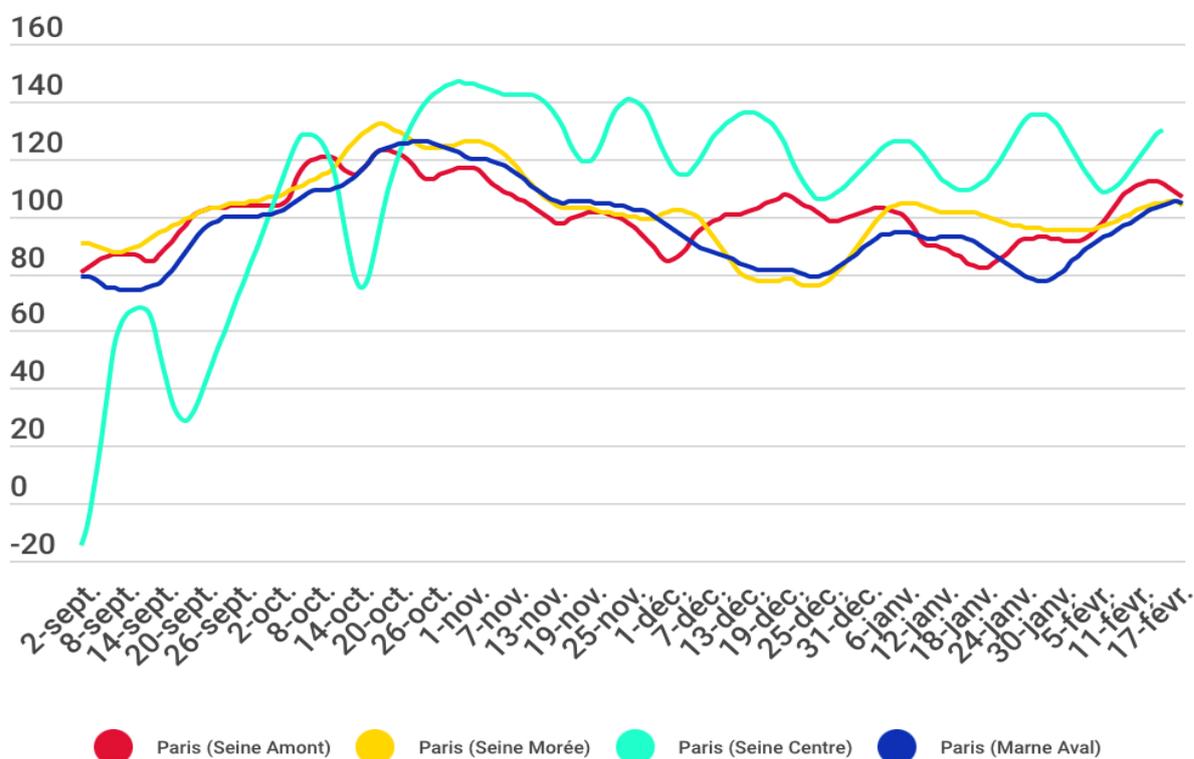


Source : Réseau OBEPINE

(...)

## EVOLUTION DES TRACES DE VIRUS DANS LES EAUX USEES RÉGION PARISIENNE GRAPHIQUE 2

Indicateur de tendance pour  
le suivi de l'épidémie  
(quantification des génômes  
viraux dans les eaux usées)



Source : Réseau OBEPINE

(...)